

**Universidad Pública de Navarra**  
**ESCUELA TECNICA SUPERIOR**  
**DE INGENIEROS AGRONOMOS**

**Nafarroako Unibertsitate Publikoa**  
**NEKAZARITZAKO INGENIARIEN**  
**GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA**

**EFFECTO DE LA ALIMENTACIÓN EN EL PERFIL LIPÍDICO DE  
ÁCIDOS GRASOS DEL TEJIDO SUBCUTÁNEO DE TERNEROS  
FRISONES.**

**presentado por**

**VANESSA PAU RODRIGUEZ**

*aurkeztua*

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKOA NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA USTIAPENAK  
BEREZITASUNA*

**Junio, 2013**  
**2013ko Ekaina**

Universidad Pública de Navarra

ESCUELA TECNICA SUPERIOR

DE INGENIEROS AGRONOMOS

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

NEKAZARITZAKO INGENIARIEN

GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA

# **EFFECTO DE LA ALIMENTACIÓN EN EL PERFIL LIPÍDICO DE ÁCIDOS GRASOS DEL TEJIDO SUBCUTÁNEO DE TERNEROS FRISONES.**

presentado por

**VANESSA PAU RODRIGUEZ**

*aurkeztua*

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKOA NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA USTIAPENAK  
BEREZITASUNA*

**Junio, 2013**  
2013ko Ekaina

M<sup>a</sup> Victoria Sarriés Martínez, Profesora del Área de Producción Animal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra.

INFORMA: que el trabajo Fin de Carrera titulado **“Efecto de la alimentación en el perfil lipídico de ácidos grasos del tejido subcutáneo de terneros frisonos”** que presenta la alumna Vanessa PAU RODRIGUEZ, ha sido realizado en el departamento de Producción Agraria de esta universidad bajo mi dirección y autorizo su presentación.

Y para que conste, firmo el presente informe en Pamplona, a 10 de Junio de 2013.

Fdo.: M<sup>a</sup> Victoria Sarriés Martínez

*Dedico este trabajo a mi pequeña familia, mi hermano, mi tío y mi abuela.*  
*A mi otra familia, mis amigos, ellos saben quiénes son, en especial a Maitane.*  
*A los que ya no están, porque en los pequeños y grandes momentos están conmigo.*  
*Por último quisiera dar las gracias a Vicky Sarriés e Inma Gómez por su ayuda y*  
*amabilidad y a Paola Eginoa por su apoyo y consejos.*

# ÍNDICE

---

<b>Lista de abreviaturas.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>11</b>
<b>Lista de ilustraciones.....</b>	<b>12</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>15</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>17</b>
<b>Revisión bibliográfica</b>	
<b>1. Situación actual del sector vacuno.....</b>	<b>21</b>
1.1 El sector vacuno en el mundo.....	21
1.2 El sector vacuno en la UE.....	21
1.3 El sector vacuno en el Estado Español.....	22
1.4 El sector vacuno en navarra.....	23
<b>2. El tejido adiposo.....</b>	<b>25</b>
2.1 Desarrollo y diferenciación del adipocito.....	27
2.2 Metabolismo del adipocito.....	28
2.2.1 El glicerol.....	30
2.2.2 Los ácidos grasos.....	31
2.2.2.1 Ácidos grasos saturados.....	32
2.2.2.2 Ácidos grasos insaturados.....	33
2.2.2.3 Ácido linoleico conjugado (CLA).....	35
2.2.2.4 BAME (Branched acid Methyl Ester).....	37
2.2.3 Los triglicéridos.....	38
<b>3. Digestión ruminal de las grasas.....</b>	<b>40</b>
3.1 Lipólisis.....	40
3.2 Biohidrogenación.....	40
3.3 Enzimas desaturasas.....	44

3.4 Absorción, transporte y captación de ácidos grasos.....	45
<b>4. Factores que afectan a la composición de la grasa</b>	
4.1 Dieta.....	47
4.1.1 Inclusión de diferentes fuentes en la mejora del perfil lipídico de la carne (Composición de las fuentes de grasa, utilización de suplementos grasos en ganado).....	49
4.1.1.1 Caracterización de la semilla de lino.....	50
4.1.1.1.1 Ácidos grasos omega 3.....	51
4.1.1.2 Efectos a nivel ruminal.....	53
4.2 Sexo.....	53
4.3 Especie.....	54
4.4 Raza.....	55
4.5 Localización.....	57
<b>Objetivos.....</b>	<b>59</b>
<b>Material y métodos</b>	
Material animal.....	61
Análisis de los ácidos grasos totales.....	64
Método estadístico.....	66
<b>Resultados.....</b>	<b>68</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>82</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>89</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>92</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ACS:** Sintetasa Acetil-Coenzima A.

**Acetil-CoA:** Acetil- CoenzimaA.

**ADH:** Hormona antidiurética.

**AG:** Ácido Graso.

**AGLs:** Ácidos grasos libres.

**AGPAT:** Acil-glicerol-fosfato-acil transferasa.

**AGPI:** Ácido graso poliinsaturado.

**AGMI:** Ácido graso monoinsaturado.

**AGV:** Ácido Graso Volátil.

**ALA:** Alfa ácido-linolénico.

**ATP:** Adenosin Trifosfato.

**BAME:** Branched acid methyl ester.

**BHT:** Butilhidroxitolueno.

**°C:** Centígrados

**CITA:** Centro de tecnología y alimentación de Aragón.

**CLA:** Acido linoleico conjugado.

**CoA:** Coenzima A.

**CRP30/adipoQ:** Adiponectina.

**DGAT:** Diacilglicerol-acil-transferasa.

**DOCE:** Diario Oficial De la Comunidad Europea.

**DOP:** Denominación de origen protegida.

**E.E:** Extracto etéreo.

**EP:** Éter de petróleo.

**EPA:** Ácido Eicosapentaenoico.

**FAD:** Fibra ácido detergente.

**FEDNA:** Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal.

**FND:** Fibra neutro detergente.

**FAO:** Organización de las naciones unidas para la agricultura.

**GPAT:** Glicerol-fosfato-acil-transferasa.

**G:** Gramo.

**IGP:** Indicación geográfica protegida.

**KOH:** Hidróxido de potasio.



**LPL:** Lipoproteína lipasa.

**LTB<sub>4</sub>:** Leucotrieno B4.

**LTB<sub>5</sub>:** Leucotrieno B5.

**LTC<sub>4</sub>:** Leucotrieno C4.

**LTB<sub>5</sub>:** Leucotrieno B5.

**LTD<sub>4</sub>:** Leucotrieno D4.

**LTB<sub>5</sub>:** Leucotrieno B5.

**MG:** Materia grasa.

**MF:** Materia fresca.

**MIN:** Minuto.

**ML:** Mililitro.

**MO:** Microorganismos.

**MS:** Materia seca.

**N<sub>2</sub>:** Nitrógeno.

**NACL:** Cloruro de sodio.

**NADH:** Dinucleotido Adenin Dinucleotido (forma reducida).

**NAD<sup>+</sup>:** Dinucleotido Adenin Dinucleotido (forma oxidada).

**NADPH:** Nicotinamida Adenina Dinucleotido fosfato (forma reducida).

**NADP<sup>+</sup>:** Nicotinamida Adenina Dinucleotido fosfato (forma oxidada).

**Ns:** No significación.

**OMS:** Organización mundial de la salud.

**PGE<sub>2</sub>:** Prostaglandina E2.

**PGE<sub>3</sub>:** Prostaglandina E3.

**PPAPs:** Fosfatasas del ácido fosfatídico.

**SC:** Subcutáneo.

**SEM:** Error estándar de la media.

**STH:** Hormona del crecimiento.

**T3:** Triiodotiamina.

**TMS-DM:** Trimethylsilyldiazomethano.

**TNF alfa:** Factor de necrosis tumoral.

**TXA<sub>2</sub>:** Tromboxano A2.

**TXA<sub>3</sub>:** Tromboxano A3.

**UI:** Unidades internacionales.

**UGM:** Unidades de Ganado Mayor.

**WHO:** World Health Organization.

**$\Omega$ -3:** Omega 3.

**$\Omega$ -6:** Omega 6.

**$\Omega$ -9:** Omega 9.

**$\mu$ :** Micra.

## **LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1:</b> Nomenclatura de los ácidos grasos.....	<b>30</b>
<b>Tabla 2:</b> Efecto del tipo de dieta sobre la concentración (mg/100mg AG) de ácido <i>transvaccénico</i> en el duodeno.....	<b>43</b>
<b>Tabla 3:</b> Efecto del nivel de concentrado en la dieta sobre la biohidrogenación (%) de los ácidos grasos linoleico y linolénico.....	<b>43</b>
<b>Tabla 4:</b> Composición en ácidos grasos de las semillas de lino (Belitz et al., 1997; Montes. J., 2012).....	<b>49</b>
<b>Tabla 5:</b> Composición de los principales ácidos grasos % del músculo procedentes de diferentes especies zootécnicas (Enser et al.,1996)..	<b>53</b>
<b>Tabla 6:</b> Composición en ácidos grasos % en diferentes especies zootécnicas (Enser et al.,1996).....	<b>54</b>
<b>Tabla 7:</b> Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.....	<b>61</b>
<b>Tabla 8:</b> Perfil lipídico de las dietas experimentales (% grasa total)...	<b>62</b>
<b>Tabla 9:</b> Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento control.....	<b>67</b>
<b>Tabla 10:</b> Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento Lino.....	<b>68</b>
<b>Tabla 11:</b> Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento CLA.....	<b>69</b>
<b>Tabla 12:</b> Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento Lino+ CL.....	<b>70</b>
<b>Tabla 13:</b> Comparación de medias de la composición en ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en los diferentes tratamientos experimentales.....	<b>72</b>

# **LISTA DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1:</b> Adipocito blanco.....	<b>24</b>
<b>Ilustración 2:</b> Tipos de adipocito.....	<b>25</b>
<b>Ilustración 3:</b> Proceso de hipertrofia e hiperplasia.....	<b>26</b>
<b>Ilustración 4:</b> proceso de síntesis del ácido graso.....	<b>28</b>
<b>Ilustración 5:</b> Diferencias estructurales entre el glicerol y el glicerol 3 fosfato.....	<b>29</b>
<b>Ilustración 6:</b> Distribución de los AG según el número de dobles enlaces presentes en la cadena de carbono.....	<b>31</b>
<b>Ilustración 7:</b> Esquema de los diferentes AG según el número de dobles enlaces.....	<b>32</b>
<b>Ilustración 8:</b> Presencia de AG en los alimentos.....	<b>34</b>
<b>Ilustración 9:</b> Diferencias estructurales del ácido linoleico y ácido linolénico conjugado (CLA).....	<b>35</b>
<b>Ilustración 10:</b> Estructura de los BAME según la posición del grupo metilo.....	<b>36</b>
<b>Ilustración 11:</b> Estructura del triglicérido.....	<b>38</b>
<b>Ilustración 12:</b> Proceso de biohidrogenación del ácido linoleico en el rumen.....	<b>40</b>
<b>Ilustración 13:</b> Biohidrogenación ruminal del ácido linoleico.....	<b>42</b>
<b>Ilustración 14:</b> Sistema digestivo en rumiantes.....	<b>44</b>
<b>Ilustración 15:</b> Rutas metabólicas de síntesis de eicosanoides Omega-3 vs Omega-6 separadas en el caso de los vertebrados y con capacidad de regulación por parte de las plantas y microorganismos.....	<b>51</b>
<b>Ilustración 16:</b> Características de la raza frisona (CONAFE).....	<b>53</b>
<b>Ilustración 17:</b> Contenido (g/100gr de grasa) de ácidos grasos saturados (AGS) e insaturados (AGI) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, Lino+CLA).....	<b>71</b>

<b>Ilustración 18:</b> Contenido (g/100gr de grasa) de ácidos grasos de la serie omega 6 (n-6) y omega 3 (n-3) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, Lino+CLA).....	<b>72</b>
<b>Ilustración 19:</b> Relación ácidos grasos omega 6 / omega 3 (n6/n3) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, lino+CLA).....	<b>76</b>
<b>Ilustración 20:</b> Relación ácidos grasos poliinsaturados/ saturados (AGP/AGS) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, lino+CLA).....	<b>77</b>
<b>Ilustración 21:</b> Representación gráfica de los principales factores procedentes del análisis factorial.....	<b>78</b>
<b>Ilustración 22:</b> Representación gráfica de los principales factores procedentes del análisis factorial dependiendo de la dieta.....	<b>78</b>

# RESUMEN

---

La reciente preocupación por la relación salud humana y dieta ha ocasionado que cada vez más, el consumidor seleccione cuidadosamente aquello que consume; por ello, los atributos que se le otorgaban a la carne de vacuno han ido reemplazándose por la creencia de que es una carne rica en ácidos grasos saturados (AGS), los cuales poseen un efecto hipercolesterolémico (Keys et al.1965; Hegsted et al., 1965). Por todo esto cada vez se realizan mayores estudios en relación a la modificación de los componentes y las características organolépticas de la carne.

Para ello el sector agroalimentario está facilitando alimentos que cumplan estas características utilizando materias primas ricas en ácidos grasos poliinsaturados, entre los que se encuentran los  $\Omega$ -3 y el ácido linoleico conjugado (CLA).

El presente trabajo ha estudiado el efecto de la utilización de Lino y/o CLA en las dietas de terneros frisonos sobre el perfil lipídico de los ácidos grasos de la grasa subcutánea. Se engloba a su vez, dentro de un proyecto más amplio que busca estudiar el metabolismo de los lípidos y su deposición en el animal y mejorar la calidad organoléptica y nutricional de la carne de vacuno mediante la suplementación en la dieta de semilla de Lino y/o CLA.

Para realizar el proyecto descrito anteriormente, se utilizaron 48 terneros de raza frisona a los que al llegar a un peso vivo de 150 Kg. se les separó en 4 grupos y se les alimentó con 4 dietas experimentales distintas:

- Dieta control: Pienso control.
- Dieta Lino: Pienso enriquecido con un 10% de semillas de Lino.
- Dieta CLA: Pienso enriquecido con un 2% de CLA.
- Dieta Lino+CLA: Pienso enriquecido con un 2% de CLA y con un 10% de semillas de Lino.

Cuando los terneros alcanzaron los 450 Kg, de peso vivo, fueron sacrificados. Para el análisis se utilizaron 30-50mg de grasa subcutánea a la del *Longissimus dorsi* y se realizó la extracción y posterior metilación de las muestras siguiendo el método descrito por Aldai, *et al* (2005). Los ésteres de metilo se analizaron en un cromatógrafo modelo G3440A Agilent serie 7890<sup>a</sup> equipado con detector de llama de ionización e inyector *Splitless* cuyo flujo es de 60ml por minuto. La identificación de los ácidos grasos se realizó mediante estándares (Sigma-Aldrich Química, S.A., Spain), con una pureza en todos ellos del 99%. Como patrón interno se utilizó el ácido tricosanoico (C23:0).

Los resultados indicaron que la suplementación de Lino y/o CLA consigue aumentar la cantidad de CLA en la grasa subcutánea de terneros frisonos. Además reduce el ratio n-6/n-3 a los valores recomendados por los organismos de la salud. Aunque se produce un aumento de la cantidad total de AGP, esto no es suficiente para conseguir elevar este ratio a los valores recomendados.



# *INTRODUCCIÓN*

---

En los últimos años, ha surgido un creciente interés en los países desarrollados por la relación entre dieta y salud humana. Durante los últimos diez años, las evidencias científicas que relacionan salud y alimentación han aumentado, por lo que el consumidor ha ido interesándose cada vez más por los efectos que la dieta pueda ejercer en la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer y otras patologías. Esto ha tenido un gran impacto en la demanda de productos alimenticios saludables y sobre todo ha generado cambios en los sistemas de producción, orientándose éstos cada vez más en obtener productos que además de seguros presenten efectos favorables en la salud humana.

La presencia de lípidos en la dieta es considerada como negativa, relacionándose el consumo de grasas en general y el de grasas saturadas en particular con la obesidad, la incidencia de problemas cardiovasculares y con algunos tipos de tumores.

Es por todo esto, que en los países desarrollados donde las necesidades nutricionales mínimas están cubiertas, la población demanda cada vez más alimentos funcionales. Un alimento funcional, es aquél que además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, puede proporcionar beneficios para la salud y reducir el riesgo de enfermedades. Numerosos trabajos de investigación han constatado que distintos constituyentes de los alimentos son ingredientes de interés para la salud: componentes derivados de la proteínas, lípidos, oligosacáridos, minerales, vitaminas y antioxidantes entre otros (Wildman, 2007). La elaboración de estos alimentos funcionales se basan en:

- La incorporación a un alimento convencional de ingredientes con actividad biológica de interés para la salud pero sin función terapéutica.
- La eliminación de constituyentes no deseados o la modificación de otros.
- Aumento de la concentración de un componente naturalmente presente con efectos beneficiosos para la salud.

La carne de vacuno se ha considerado siempre como un alimento muy apreciado, con un alto valor nutritivo, fuente de proteínas de alto valor biológico y macronutrientes (Vitamina A, B6, B12, D, E, hierro, zinc, selenio) (Biesalski, 2005). Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne de vacuno deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad. La carne es rica en vitamina B12 y hierro, los cuales no están fácilmente disponibles en las dietas vegetarianas (FAO). Sin embargo, durante los últimos años, estos atributos positivos se han eclipsado por la importancia que se le ha dado a algunas características negativas, como la percepción de

que la carne de vacuno contiene altas cantidades de grasa rica en ácidos grasos saturados (AGS) y bajas en ácidos grasos poliinsaturados (AGP).

El sistema de cebo de terneros más utilizado en España consiste en dietas a base de concentrados ricos en cereales y paja de cereales como forraje. Como consecuencia, la carne presenta una relación en AGP/AGS desfavorable en comparación a la que presentan animales que consumen cantidades mayores de forraje. Los ácidos grasos monoinsaturados (AGM), ácidos grasos poliinsaturados (AGP) y el ácido linoleico conjugado (CLA), presentan importantes beneficios para la salud humana, de manera que las recomendaciones dietéticas van encaminadas a aumentar la relación AGP/AGS, reducir la relación n-6/n-3 (OMS, 2003) y aumentar el contenido en CLA en la dieta (Mir *et al.*, 2004).

La suplementación de los piensos utilizados en el cebo intensivo de terneros con semillas de lino y/o CLA podría aumentar el contenido en AGM y AGP, así como el contenido en CLA, dando lugar a una carne más saludable desde el punto de vista de la salud humana.

El presente trabajo fin de carrera titulado “Efecto de la alimentación en el perfil lipídico de ácidos grasos del tejido subcutáneo de terneros frisonos”, se incluye en un proyecto de investigación del Área de Producción Animal titulado “Carne de vacuno enriquecida en omega-3 y CLA. Metabolismo lipídico y calidad de la grasa”(RTA2009-00004-C02-02), cuyo objetivo principal es estudiar el posible efecto que tiene la alimentación de terneros frisonos alimentados con piensos enriquecidos en ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y ácidos linoleico conjugados (CLA), sobre la calidad de la carne.

# *REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*

---

# 1. SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR VACUNO

## 1.1 EL SECTOR VACUNO EN EL MUNDO

El mercado de los productos cárnicos ha sufrido importantes fluctuaciones durante la última década. Los principales cambios observados surgen como consecuencia de una mejora en los sistemas de producción y las nuevas políticas comerciales tras la creación de la Organización Mundial del Comercio, que han favorecido un incremento de los intercambios. Así mismo, es destacable la incidencia provocada por las crisis alimentarias que han dado lugar a desequilibrios en los mercados por descenso del consumo de determinados productos y restricciones impuestas a algunas producciones por motivo de protección.

## 1.2. EL SECTOR VACUNO EN LA UE

El sector presenta grandes diferencias entre los Estados miembros, debido a los distintos modelos de producción así como a las preferencias de los consumidores. Básicamente se distinguen tres modelos de producción. Por un lado en países como Holanda, Bélgica, Dinamarca y Francia predomina la producción de ternera blanca procedente fundamentalmente del sector lácteo y cuyo sacrificio se produce a edades muy jóvenes (sin cebo para evitar problemas de engrasamiento).

La mayor parte de la producción europea es de añojo, (Sacrificio a los 12-14 meses), y corresponde a los países del centro y sur de la UE. En el norte de la UE los animales se sacrifican con 22-28 meses. En este caso la diferencia entre Estados miembros radica en la distinta alimentación en función de la disponibilidad de superficie forrajera, siendo alimentados los animales con cereales en los países mediterráneos y en la edad de sacrificio.

Por último, la producción de bueyes destaca en Irlanda y Reino Unido y con menor importancia en Francia.

El censo total de ganado vacuno asciende a 77'3 millones de cabezas con una producción neta de 7'8 millones de toneladas en el año 2005 (FAO). Según la última encuesta realizada en el año 2001 las explotaciones de vacas nodrizas suponen el 53 % del conjunto de explotaciones de ganado vacuno. Desde comienzos de la década de los 90 se observa una reducción del censo total de bovinos, en concreto un 9 % desde 1995, frente al que destaca el aumento en España de 19 % en ese mismo periodo de tiempo. Esta reducción responde principalmente al descenso producido en el número de vacas de

aptitud láctea ya que el censo de vacas nodrizas ha aumentado considerablemente hasta el año 2005 para ir descendiendo hasta el año 2008.

La producción comunitaria ha descendido durante la última década un 8'5 % mientras ha aumentado en España un 40 % en el mismo periodo de tiempo. Esta reducción ha sido significativa en Francia, Alemania y Reino Unido. Este hecho sin duda tiene relación con la derogación de la normativa que impedía la venta de animales vivos y canales procedentes de bovinos mayores de 30 meses hacia otros Estados miembros (marzo, 2006).

### 1.3 EL SECTOR VACUNO EN EL ESTADO ESPAÑOL.

El sector vacuno español es, dentro de las producciones ganaderas, el tercero en importancia económica en nuestro país, por detrás del sector porcino y del sector lácteo, representando en 2011 aproximadamente el 15,6% de la Producción Final Ganadera y en torno al 5,8% de la Producción Final Agraria. Además ocupa el quinto puesto en importancia productiva en el conjunto de la Unión Europea.

La actual coyuntura socioeconómica nacional e internacional ha intensificado los cambios en el sector. Así ha sido necesaria una importante adaptación ante situaciones como la globalización de los mercados, la marcada volatilidad de las materias primas o las últimas reformas en el marco de las ayudas agrarias.

Este período de ajustes se ha traducido en el sector en cambios en censos y producciones.

A lo largo de la última década, los censos de vacuno experimentan un crecimiento hasta 2004, año que ha marcado un punto de inflexión con el inicio de ligeros ajustes, aunque el mayor porcentaje de recesión se explica por la reducción del número de cabezas de ganado lechero.

En la distribución por edades continúa la tendencia del año anterior en el que se había producido una inversión respecto a los últimos ejercicios. Actualmente los animales jóvenes suponen el 47% y los mayores de 2 años el 51%. Esta distribución podría deberse a la bajada del consumo que se observa en la carne de vacuno.

En 2011 en España la producción de carne de vacuno se ha mantenido muy estable respecto al año anterior. Así, el último dato disponible, de diciembre de 2011, indica que el número de animales sacrificados en 2011 alcanzó 2.305.402 cabezas, lo que supone un aumento del 0,14% respecto al

año anterior. Este aumento se traduce igualmente en un incremento del número de toneladas producidas, que asciende a 604.479, un 0,37% superior a las registradas en el año 2010.

El sector español, presenta unas características específicas que permiten diferenciar dos subsectores, el subsector de vacas nodrizas y el subsector de cebo, lo que implica una diferenciación geográfica.

Las explotaciones de vacuno de cebo se localizan principalmente en aquellas regiones cercanas a las zonas de producción de cereal y en las grandes zonas de consumo, donde se localizan los principales mataderos; Aragón, Cataluña, Madrid y el levante español reciben el ganado proveniente de la cornisa cantábrica, Extremadura, Andalucía y Castilla y León.

Por Comunidades Autónomas, el primer lugar en número de efectivos, lo ocupa la Comunidad Autónoma de Castilla y León (20,9%), seguido de Galicia (15,9%), Extremadura (12,4%), Cataluña (10%) y Andalucía (9,2%). (MAAM).

#### 1.4 EL SECTOR VACUNO EN NAVARRA

Navarra registra en el año 2010 un total de 1413 explotaciones que cuentan con alguna cabeza de vacuno de carne, con un total de 28300 vacas de carne que son el 10% de las Unidades de Ganado Mayor (UGM) totales de la comunidad. A esto hay que añadirle las 140 explotaciones dedicadas al cebo de terneros con 15.000 plazas ocupadas.

Se trata de una actividad muy extendida como complementaria de otras actividades ganaderas agrícolas presentes en la explotación donde el 28% son explotaciones más especializadas, la actividad mayoritaria es el vacuno de carne, y agrupan al 75% del total de cabezas.

La producción de carne se realiza principalmente a base de la raza autóctona Pirenaica presente en la mitad de las explotaciones. La otra raza autóctona, Betizu apenas ocupa el 1% de las explotaciones. Cabe mencionar que en la IGP Ternera de Navarra solamente pueden entrar las siguientes Razas: Pirenaica, Blonda de Aquitania, Parda Alpina, Charolesa y la mezcla de estas cuatro Razas. La Raza Limusine está fuera de la IGP.

Con respecto al vacuno de leche, en 2010 existían en Navarra 260 explotaciones dedicadas a la producción de leche que suman un total 23.000 vacas de ordeño aproximadamente. El tamaño medio es de unas 90 vacas de Raza Frisona, con una cuota media de producción de 700.000 litros de leche por explotación y año.

Actualmente se produce un 38% más de leche que hace 25 años con menos explotaciones, produciéndose más del doble de lo que se consume en la Comunidad Autónoma. El precio medio percibido durante el periodo 2000-2009 es de 328 euros por 1000 litros, con grandes altibajos en los últimos años.

La mitad de las explotaciones están constituidas de forma asociativa.

A modo de curiosidad, mencionar que la mayor explotación de vacuno de leche de Europa se encuentra en Navarra y dispone de una sala rotativa de 72 vacas.

Los principales problemas a los que se enfrenta el sector de vacuno en Navarra son:

- La disputa del mercado con productores no sólo europeos sino también de otros países.
- Elevada edad media de los titulares de las explotaciones, 55 años, que pone en grave riesgo la continuidad de la actividad en algunos lugares debido a la falta de relevo generacional.
- Disminución del número de explotaciones y de cabezas.
- Descenso del consumo de carne de vacuno, lo que hace difícil que en esta coyuntura puedan subir los precios del producto en origen.
- Aumento del gasto en piensos y una disminución del margen para el ganadero.

Sin embargo la producción ganadera Navarra posee puntos fuertes como pueden ser:

- La inserción de la ganadería dentro de un paisaje y en un medio natural donde convive en perfecto equilibrio.
- Sector cooperativo fuerte y una larga tradición asociativa.
- Sistema de autogobierno.
- Apuesta por los Sistemas Públicos de Calidad Diferenciados, con productos amparados bajo marcas de calidad reconocida como las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) como el queso de Roncal o el de Idiazábal y las Indicaciones Geográficas Protegidas (IGP) como la ternera de Navarra y el cordero de Navarra. Estos sistemas aportan información y garantías de calidad y trazabilidad.



## 2. EL TEJIDO ADIPOSO

El tejido adiposo es el tejido de origen conjuntivo conformado por la asociación de células que acumulan lípidos en su citoplasma: los adipocitos.

Cumple funciones mecánicas, sirve como amortiguador, protegiendo y manteniendo en su lugar los órganos internos así como a otras estructuras más externas del cuerpo, funciones metabólicas, endocrinas y es el mayor reservorio energético en los animales.

Los adipocitos son las células encargadas en almacenar la energía excedente en forma de triglicéridos y movilizarla nuevamente en periodos de carestía calórica (René et al., 2010).

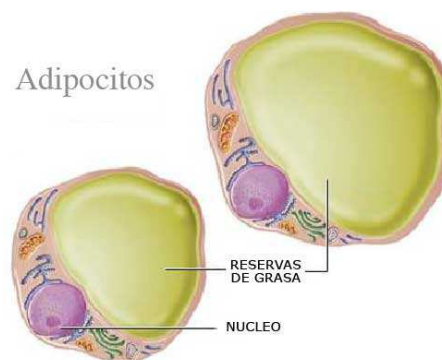
Se distinguen dos grandes grupos de adipocitos que difieren por su morfología, función, distribución y genes. Ambos tienen un origen mesenquimático común y se encuentran embriológica e histológicamente vinculados, aunque se han ido diferenciando para adaptarse a los requerimientos de los organismos (Himms-Hagen *et al.*, 1992):

➤ Adipocito blanco:

Se caracteriza por estar formado por células adiposas muy grandes. El tamaño adipocitario varía entre 10 a 100µ de acuerdo al estado nutricional, pues los adipocitos modifican sus diámetros y consecuentemente su volumen, según almacenen más o menos triglicéridos. La mayor parte de su citoplasma está ocupada por una gran gota de grasa compuesta principalmente por triglicéridos, la cual puede llegar al 80% de su volumen. El resto del citoplasma y el núcleo se disponen en un espacio pequeño cerca de la membrana citoplasmática.

Los adipocitos maduros poseen una sola gota de grasa y por ello se denominan adipocitos uniloculares. Se localizan sobre todo en el tejido subcutáneo, zona abdominal, mesentérico, zona retroperitoneal y extremidades.

**Ilustración 1:** Adipocito blanco



Su distribución dependerá del sexo, edad, metabolismo y alimentación del individuo.

Tiene funciones fisiológicas importantes, secretando numerosas proteínas, las cuales participan en la regulación autócrina y parácrina dentro del propio tejido y además tienen efectos en la función de órganos distantes, tales como el músculo, páncreas, hígado y cerebro. Estas proteínas secretadas, las cuales fueron denominadas bajo el término común de adipocitoquinas o adipocinas se hallan implicadas en:

- La regulación del peso corporal (leptina, CRP30/adipoQ)
  - La función del sistema inmune (TNFalfa, IL-1, IL-6)
  - La función vascular (angiotensina e inhibidor del plasminógeno tipo 1),
  - La función reproductiva (estrógenos).
  - Desarrollo de la resistencia a la insulina (resistina)
- (Brandan, *et al.*, 2008).

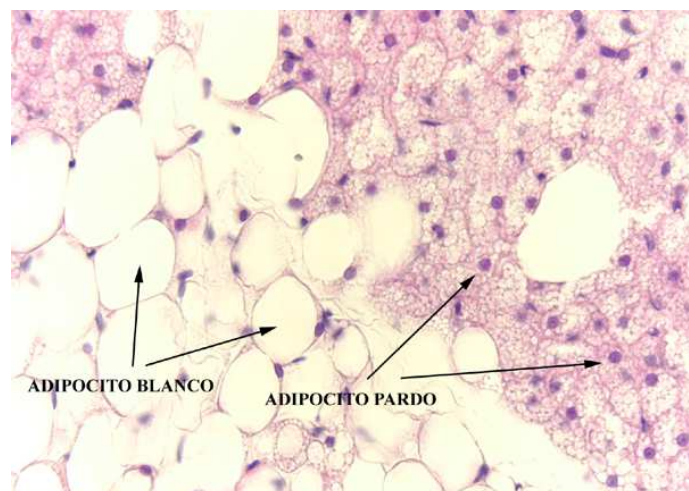
.

- Adipocito pardo:

El tejido adiposo marrón o tejido adiposo pardo es una clase de tejido adiposo multilocular, abundante en el feto y neonatos que tiene como única función la producción de calor.

El lípido es acumulado en el citoplasma en forma de gotas de un tamaño no muy grande, rodeadas de numerosas mitocondrias, gracias a lo cual debe su característico color marrón. El núcleo tiene una localización menos excéntrica que en el tejido unilocular.

**Ilustración 2:** Tipos de adipocito.

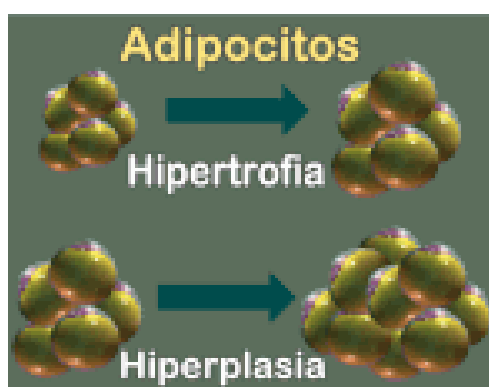


Las células de éste tipo normalmente se disponen alrededor de los vasos sanguíneos y las mitocondrias carecen del aparato celular para transformar la energía liberada por la oxidación de los ácidos grasos en ATP por lo que ésta se transfiere en forma de calor a la sangre. Además así se facilita el intercambio gaseoso por la intensa actividad celular.

## 2.1. DESARROLLO Y DIFERENCIACIÓN DEL ADIPOCITO

En el aumento de la cantidad de tejido adiposo se hayan implicado dos procesos; por una lado está el aumento de tamaño de los adipocitos (hipertrofia) y por otro, el incremento en el número de adipocitos (hiperplasia).

**Ilustración 3:** Proceso de hipertrofia e hiperplasia.



Se da un claro predominio de la hipertrofia sobre la hiperplasia; sólo cuando el individuo alcanza el 170% del peso ideal comienza el proceso de hiperplasia (Hirsch.J, 1989).

Para la hiperplasia, las células del soporte fibroblástico-vascular del tejido adiposo, se diferencian a adipoblasto, coincidiendo con un brusco incremento de su nivel de lipoproteína lipasa (LPL). El adipoblasto va adquiriendo enzimas y receptores que lo transforman en preadipocito.

En los preadipocitos existe un receptor para los ácidos grasos, que interviene en el proceso de síntesis de las enzimas necesarias para la diferenciación celular, estableciéndose así una relación entre factores alimentarios y la activación de las células preadiposas que depende de genes y otros factores, relacionados con la acumulación de triglicéridos.

Posteriormente se incorporarán nuevos receptores y enzimas para la síntesis de ácidos grasos y de triglicéridos, hasta alcanzar finalmente el estado de adipocito maduro.

En el proceso de diferenciación desde adipoblasto a adipocito intervienen factores del medio, además del obligado superávit energético

Entre los factores del medio se encuentran:

- La insulina.
- La hormona de crecimiento (TSH).
- La triiodotironina (T3)
- Las prostaciclina y los glucocorticoides.

## 2.2. METABOLISMO DEL ADIPOCITO

Se denomina lipogénesis a la síntesis de triglicéridos a partir de glicerol y ácidos grasos. Se desarrolla en la mitocondria y en el citosol. Se inicia con la acetil-CoA y se acumula por la adición de dos unidades de carbón. La síntesis se produce en el citoplasma, en contraste con la degradación (oxidación) que se produce en la mitocondria. Muchas de las enzimas para la síntesis de ácidos grasos se organizan en un complejo multienzimático llamado ácido graso sintasa.

Los ácidos grasos del organismo provienen tanto de la dieta como de la biosíntesis endógena.

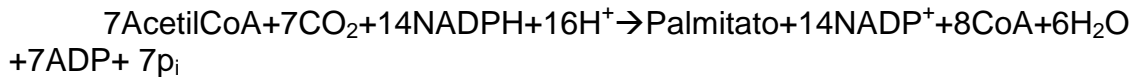
Los ácidos grasos son sintetizados cuando hay un exceso calórico en la dieta. La principal fuente de carbono para la síntesis de ácidos grasos son los hidratos de carbono de la dieta. Además, un exceso calórico correspondiente a las proteínas dietarias, también puede resultar en un aumento de la síntesis de ácidos grasos. En este caso, la fuente de carbonos son los aminoácidos que pueden ser convertidos a acetil-CoA o a intermediarios del ciclo de Krebs.

Las moléculas de acetil-CoA se forman en la mitocondria por oxidación descarboxilante del ácido pirúvico. La membrana mitocondrial interna no es permeable a la acetil-CoA y el transporte de este precursor de las mitocondrias al citoplasma está asegurado por la lanzadera del ácido cítrico.

La acetil-CoA mitocondrial es condensada con el ácido oxalacético por la citrato sintetasa. El ácido cítrico formado llega al citoplasma. La citrato liasa lo rompe en acetil-CoA y ácido oxalacético. Este último es reducido por la málico deshidrogenasa en ácido málico cuya descarboxilación oxidativa por la enzima málica, que tiene por coenzima al NADP, conduce a la formación de ácido pirúvico. El ácido pirúvico citoplasmático llega luego al compartimiento mitocondrial donde es transformado en ácido oxalacético por la piruvato

carboxilasa. Durante este ciclo de transporte, dos moléculas de ATP son hidrolizadas.

Cada transferencia de una molécula de acetil CoA se acompaña de la oxidación de una molécula de NADH durante la acción de la málico deshidrogenasa y de la reducción de una molécula de NADP por la enzima málica. Para la síntesis de ácido palmítico, son necesarias 14 moléculas de NADPH<sup>+</sup> y 16H<sup>+</sup>, 8 se forman durante el transporte de la acetil-CoA, los otros 6 se forman por la vía del ciclo de las pentosas.



El Acetil-CoA citosólico se obtiene por dos vías:

- Descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico antes de entrar en el ciclo de Krebs con la consiguiente eliminación de un grupo carboxilo. El grupo acetilo con dos carbonos que queda, es captado por la Coenzima A.

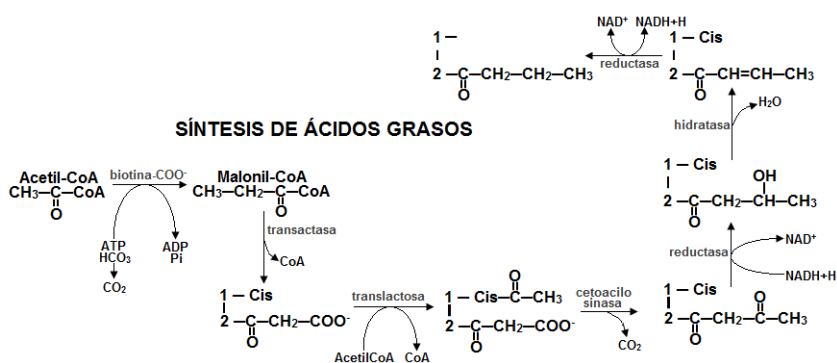
- Beta oxidación de los ácidos grasos. Los ácidos grasos son escindidos en fragmentos de dos carbonos que son aceptados por la Coenzima A, originando acetil-CoA que ingresa en el ciclo de Krebs.

El NADPH que se utiliza para la reducción del Acetil-CoA y formar los ácidos grasos, proviene de distintas rutas:

- Vía de las pentosas por reacción de la glucosa-6-fosfato y la 6-fosfogluconato deshidrogenasa.

- Reacción de la enzima málica.

- Reacción de la isocitrato deshidrogenasa del citosol. Muy minoritario.

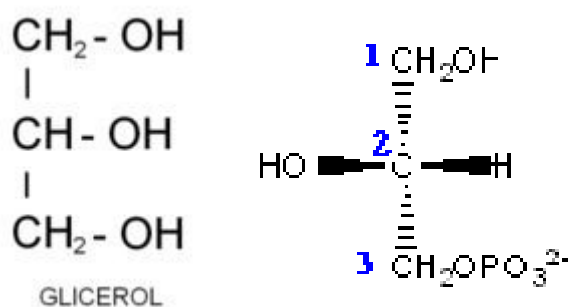
**Ilustración 4:** proceso de síntesis del ácido graso.

Lipólisis es la hidrólisis de los triglicéridos en esos mismos constituyentes.

Ambos procesos son simultáneos y el balance neto de estos dos procesos, determinará la cantidad de triglicéridos de la gota lipídica y por tanto el tamaño del adipocito.

### 2.2.1 EL GLICEROL

Es un alcohol de tres carbonos con grupos carboxilo. Junto con los ácidos grasos es uno de los componentes de los triglicéridos formados en la lipogénesis.

**Ilustración 5:** Diferencias estructurales entre el glicerol y el glicerol 3 fosfato.

La fuente glicerol fosfato en el tejido adiposo, es el metabolismo de la glucosa en la vía glucolítica y la fuente glicerol hidroxilada es la desesterificación de triglicéridos. La principal fuente de glicerol para el adipocito

procede de la degradación de la glucosa por las rutas de la glucólisis y la pentosa fosfato.

### 2.2.2 LOS ÁCIDOS GRASOS (AG)

Los ácidos grasos son moléculas formadas por cadenas de carbono que poseen un grupo carboxilo como grupo funcional. El número de carbonos habitualmente es de número par. Los tipos de ácidos grasos más abundantes en la naturaleza están formados por cadenas de 16 a 22 átomos de carbono.

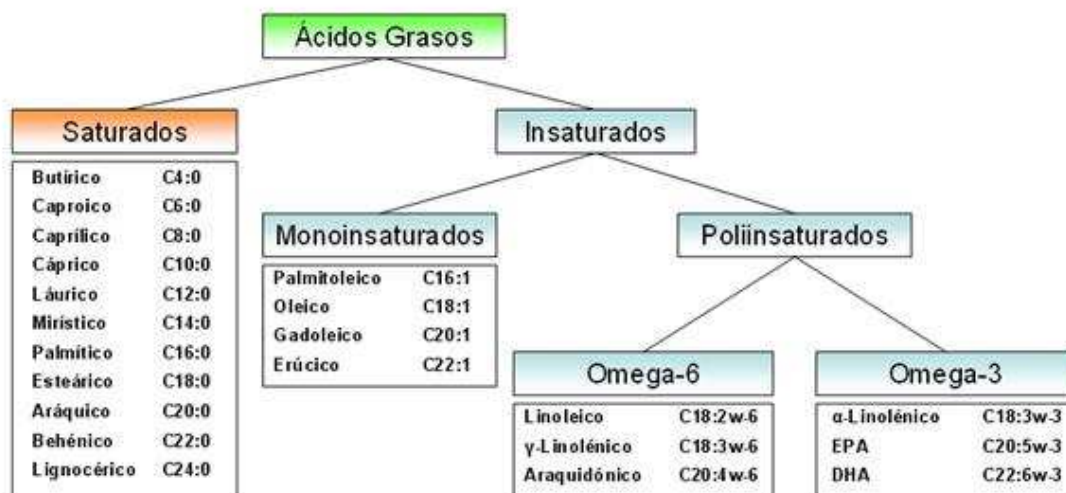
La parte que contiene el grupo carboxilo manifiesta carga negativa en contacto con el agua, por lo que presenta carácter ácido. El resto de la molécula no presenta polaridad (apolar) y es una estructura hidrófoba. Como la cadena apolar es mucho más grande que la parte con carga (polar), la molécula no se disuelve en agua.

En la tabla 1 se presenta la nomenclatura universal para los distintos ácidos grasos según el número de carbonos y dobles enlaces (Ilustración 6)

**Tabla 1:** Nomenclatura de ácidos grasos.

AG	Uniones Dobles	Nombre Común	Fórmula química
2:0	-	acético	$\text{CH}_3\text{COO}^-$
4:0	-	butírico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^-$
6:0	-	caproico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COO}^-$
8:0	-	caprílico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COO}^-$
10:0	-	capríco	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COO}^-$
12:0	-	láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COO}^-$
14:0	-	mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COO}^-$
16:0	-	palmitico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COO}^-$
16:1	n-6	palmitoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COO}^-$
18:0	-	esteárico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}^-$
18:1	n-9	oleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COO}^-$
18:2	n-6	linoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COO}^-$
18:3	n-6	q-linoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_3\text{COO}^-$
18:3	n-3	a-linoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COO}^-$
20:0	-	araquidónico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COO}^-$
20:2	n-6	eicosadinoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_8\text{COO}^-$
20:3	n-6	eicosatrinoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_5\text{COO}^-$
20:4	n-6	araquidónico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COO}^-$
20:5	n-3	eicosapentaenoico (EPA)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COO}^-$
22:0	-	behenico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COO}^-$
22:5	n-3	docosapentaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_4\text{COO}^-$
22:6	n-3	docosahexaenoico (EPA)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_6(\text{CH}_2)_2\text{COO}^-$
24:0	-	lignocerático	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COO}^-$

**Ilustración 6:** Distribución de los AG según el número de dobles enlaces presentes en la cadena de carbono.



### 2.2.2.1. ÁCIDOS GRASOS SATURADOS

Los enlaces entre los carbonos son enlaces simples, con la misma distancia entre ellos (1,54 Å) y el mismo ángulo (110°). Esta circunstancia permite la unión entre varias moléculas mediante fuerzas de Van der Waals. Cuanto mayor sea la cadena (más carbonos), mayor es la posibilidad de formación de estas interacciones débiles. Por ello, a temperatura ambiente, los ácidos grasos saturados suelen encontrarse en estado sólido.

El efecto hipercolesterolémico de los ácidos grasos saturados de 12,14 y 16 átomos de carbono es conocido desde hace más de 40 años (Keys *et al.* 1965; Hegsted *et al.*, 1965). Sin embargo, en los últimos años algunos estudios han apuntado que aquellos ácidos grasos que se consideran hipercolesterolémicos (láurico, mirístico y palmítico) podrían tener incluso efectos positivos en una dieta que presente niveles moderados de los mismos (Poppitt *et al.*, 2002; Dadabidie *et al.*, 2005; Gómez., 2010).

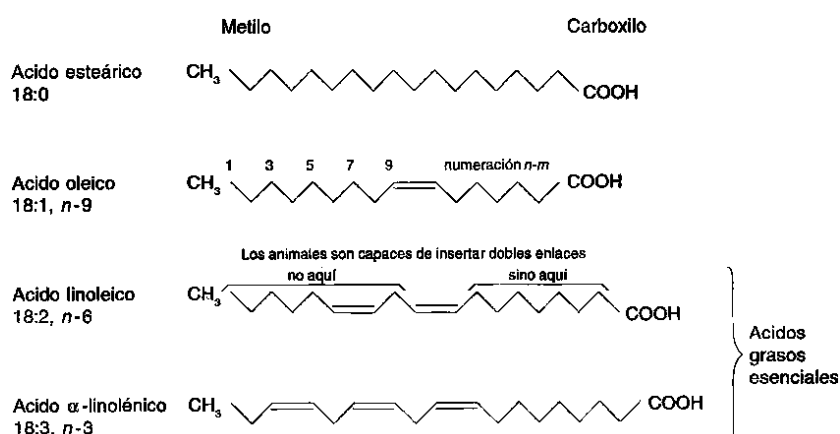


### 2.2.2.2 ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS

En ellos pueden aparecer enlaces dobles o triples entre los carbonos de la cadena. La distancia entre los carbonos no es la misma que la que hay en los demás enlaces de la molécula, ni tampoco los ángulos de enlace ( $123^\circ$  para enlace doble,  $110^\circ$  para enlace simple). Esto origina que las moléculas tengan más problemas para formar uniones mediante fuerzas de Van der Waals entre ellas. Por ello, a temperatura ambiente, los ácidos grasos insaturados suelen encontrarse en estado líquido.

Si contienen un doble enlace, se denominan ácidos grasos monoinsaturados (AGM), mientras que si presentan dos o más dobles enlaces se denominan ácidos grasos poliinsaturados (AGP). (Ilustración 7).

**Ilustración 7:** Esquema de los diferentes AG según el número de dobles enlaces.



Los AG poliinsaturados, son más reactivos químicamente. Cuando hay un doble enlace en la cadena, pueden presentarse dos formas del AG en función de la disposición en el espacio de los átomos de hidrógeno unidos a los átomos de carbono del doble enlace:

**Cis:** cuando los dos átomos de hidrógeno se encuentran en el mismo lado del doble enlace. La mayoría de los AG que se encuentran en la naturaleza son de este tipo.

**Trans:** cuando se encuentran uno en cada lado.

En los AGP los carbonos de la cadena hidrocarbonada se identifican como  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\varphi$  si son del 1º, 2º o 3er carbono desde el grupo carboxilo o como  $\omega$  desde el grupo metilo. De esta manera, podemos clasificar los AGPI en 4 familias:

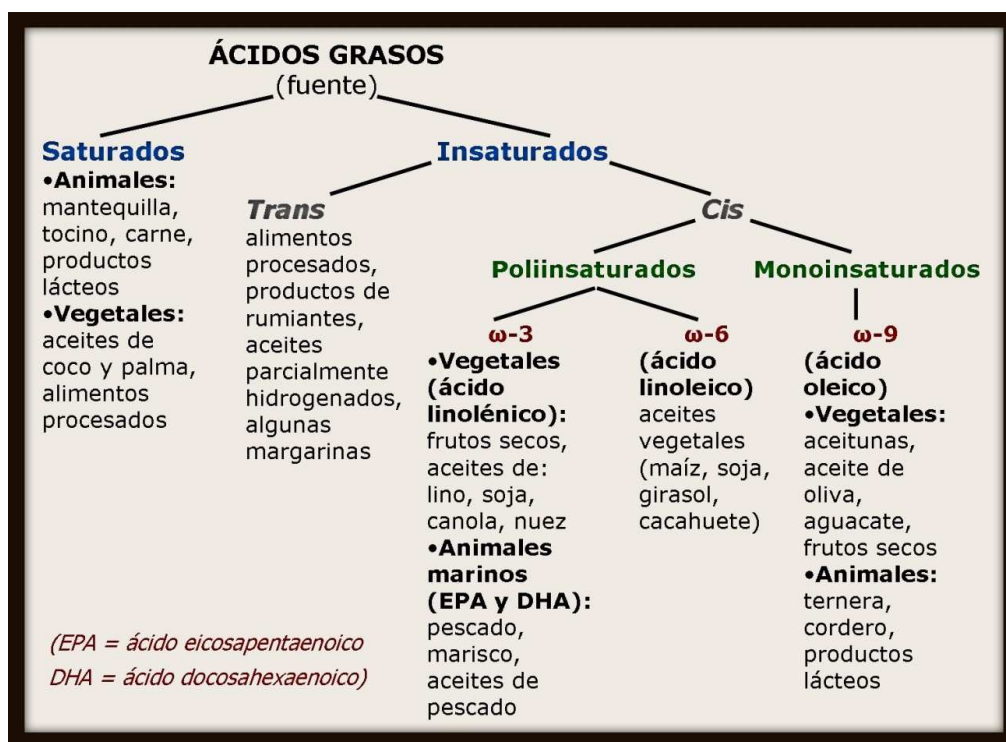
➤ Los AG de la familia n-7 que se sintetizan a partir del ácido palmítico (C16:0). Se sintetiza en el propio cuerpo.

- Los AG de la familia n-9 que se sintetizan a partir del ácido esteárico (C18:0). Se sintetiza en el propio cuerpo.
- Los AG n-3 y n-6. Las plantas y microorganismos regulan la fluidez de sus membranas equilibrando la proporción de AG saturados, insaturados y poliinsaturados que introducen en sus membranas celulares y depósitos grasos. Esta capacidad total de síntesis de AG no la posee el hombre ni los animales vertebrados ya que carecen de las enzimas desaturasas necesarias para introducir dobles enlaces en los carbonos número 12 y 15 de los ácidos grasos. Esto implica la imposibilidad de sintetizar ciertos ácidos grasos que resultan imprescindibles para el metabolismo, tales como el ácido linoleico (18:2 n-6), y el  $\alpha$ -linolénico (18:3 n-3). Estos AG deben ser incorporados a nuestro organismo mediante la alimentación y son considerados como “ácidos grasos esenciales”. Su deficiencia causa patologías asociadas a la piel y sistema nervioso. Por otro lado, estas dos series y la serie 9 intervienen en un proceso de inhibición competitiva entre ellas (Beriaín *et al.*, 2009, Montes, 2012).

Esta falta en la capacidad de síntesis de los AG Omega-3 implica la imposibilidad en la regulación del balance orgánico de los AG Omega-6/Omega-3 dependiendo principalmente de la alimentación

El incremento de las grasas poliinsaturadas en la dieta, una relación  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 inferior a cinco y un incremento en CLA, lleva a un producto más saludable desde el punto de vista de la salud cardiovascular, anticancerígena, anti obesidad e inmunológica (Wood *et al.*, 1997). Sin embargo se ha detectado que en la dieta occidental, con un consumo importante de aceites de semillas como el girasol, ésta relación alcanza niveles cercanos a 25:1 (Mataix y Gil, 2004) muy lejos de los valores recomendados por la OMS, que sugiere que la relación debe ser inferior a 10:1 y preferiblemente menor que 5:1.

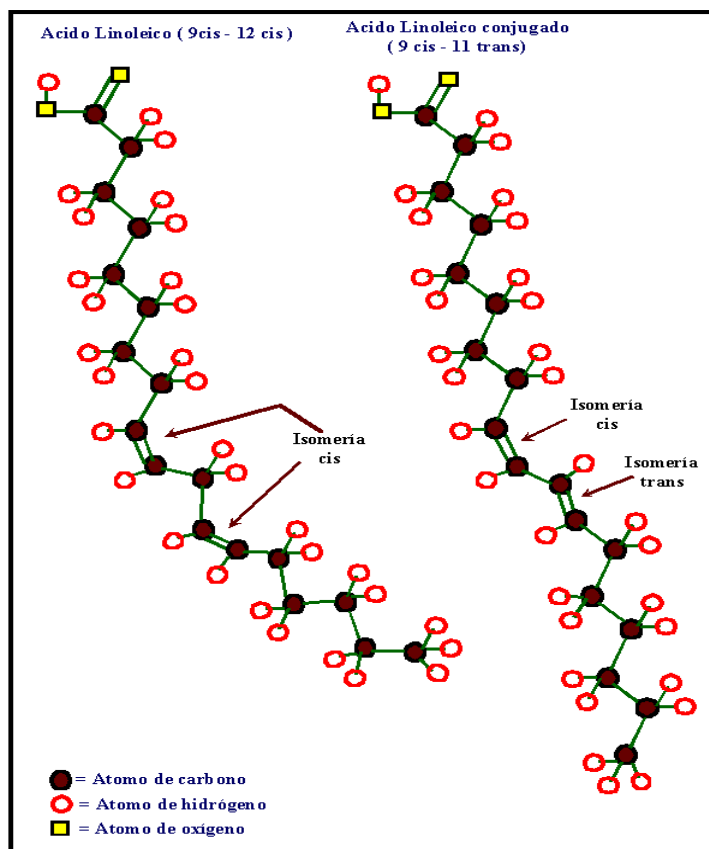
En la ilustración 8 se puede observar la fuente alimenticia de los distintos tipos de ácidos grasos antes descritos.

**Ilustración 8:** Presencia de AG en los alimentos.

### 2.2.2.3. ÁCIDO LINOLÉICO CONJUGADO (CLA)

Otro grupo de AGP que ha suscitado un gran interés en las últimas décadas es el CLA y sus conjugados (Ilustración 9). Éste es un término que engloba una mezcla de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico con los dobles enlaces conjugados en distintas posiciones de la molécula. Pueden presentarse en todas las combinaciones posicionales posibles (*cis/cis*, *cis/trans*, *trans/cis*, *trans/trans*). La mayoría de estos isómeros se encuentran de forma natural y en pequeñas cantidades en la grasa de alimentos derivados de rumiantes.

**Ilustración 9:** Diferencias estructurales del ácido linoleico y del ácido linoleico conjugado (CLA).



El ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11) es el AG más abundante de los ácidos grasos conjugados ya que representa el 85% (Chin *et al.*, 1992; Péres., 2010).

Los CLA son intermediarios formados durante la biohidrogenación ruminal del ácido linoleico (18:2 *n*-6) (Apartado 3.2). A partir del ácido vaccénico (18:1 *trans*-11), que es otro producto intermediario de la biohidrogenación del rumen, se da su conversión a CLA gracias a la enzima  $\Delta^9$  Desaturasa. Por ello el contenido final de CLA en la grasa proveniente de los productos derivados de los rumiantes, dependerá de la producción ruminal de CLA y ácido vaccénico (18:1 *trans*-11) y de la actividad de la enzima  $\Delta^9$  Desaturasa, que como veremos más adelante (Apartado 3.3) se ve sometida a la competencia de otras enzimas.

El grupo de los CLA, a parte de sus propiedades anticancerígenas, posee otros efectos beneficiosos como la capacidad para disminuir la grasa corporal, favorecer la absorción de calcio y mejorar la respuesta inmunitaria. El consumo diario de CLA en la dieta occidental (100-200 mg/d; Ritzenthaler *et al.*, 2001) es bastante moderado e inferior a los niveles recomendados (2g/d)

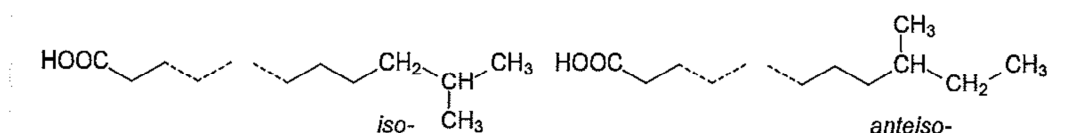
(Parodi, 1999; Watkins *et al.*, 2000; Williams, 2000; Pariza *et al.*, 2001; Belury, 2002, Azain, 2003) para resultar efectivo en alimentación humana (Williams, 2000). Además, su consumo se ha reducido como consecuencia de la disminución de la ingestión de leche, mantequilla y carne de rumiantes.

#### 2.2.2.4 BAME (BRANCHED ACID METHYL ESTER).

Este tipo de ácidos grasos son constituyentes comunes de los lípidos de bacterias y animales. Normalmente la cadena carbonada es saturada y la rama es un grupo metilo. Su principal función puede ser el aumento de la fluidez de los lípidos como alternativa a los dobles enlaces, que son responsables de la oxidación.

Existen dos tipos de BAME según la posición de su grupo metilo, los *iso* y *anteiso*.

**Ilustración 10:** Estructura de los BAME según la posición del grupo metilo.



Los ácidos grasos considerados *iso*- tienen el grupo metilo en el penúltimo carbono y los *anteiso*- lo tienen en el antepenúltimo. Ejemplos de estos ácidos son: *iso* C14:0, *iso* C15:0, *anteiso* C15:0, *anteiso* C16:0, *iso* C16:0, *iso* C17:0 y el *anteiso* C17:0.

Estos ácidos grasos pueden encontrarse tras la digestión y absorción de los mismos en el tejido animal, sobre todo en animales marinos y rumiantes. Sin embargo también pueden sintetizarse en el tejido animal vía *síntesis de novo*.

En algunas investigaciones recientes se han estudiado como marcadores potenciales para cuantificar las proporciones de diferentes clases de bacterias que se encuentran en el rumen y para predecir el ratio de AGV (Vlaemick *et al.*, 2004, 2006a).

Recientes estudios han demostrado la actividad anticancerígena de los ácidos grasos de cadena ramificada (Yang *et al.*, 2000). Se demostró que el *iso* C15:0 extraído de un producto de soja fermentada efectivamente inhibe el crecimiento de diversas líneas celulares de cáncer, tanto *in vitro* como *in vivo*.

En los estudios *in vitro*, se ha demostrado la actividad del *anteiso* C15:0 contra células de cáncer de mama humano (Wongtangtintharn *et al.*, 2004). La

citotoxicidad de estos ácidos grasos es comparable a la del CLA, que es un componente menor de la grasa de la leche pero que ha recibido más atención como un agente potencial contra el cáncer (Lock y Bauman., 2004)

Variaciones en el ratio forraje/concentrado en la dieta alteran las cantidades de BAME en la leche, lo cual refleja cambios en la población microbiana del rumen. Un aumento de este ratio, disminuye la importancia relativa de la flora aminolítica y promueve el crecimiento de las bacterias celulolíticas ricas en AG *iso*- (Vlaemick *et al.*, 2006b). Esto se traduce en una mayor concentración de *iso*C14:0 e *iso* C15:0 en la leche cuando se dan proporciones altas de forraje en la dieta.

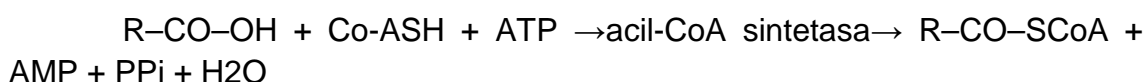
### 2.2.3 LOS TRIGLICÉRIDOS.

Los triglicéridos son un tipo de lípidos formados por una molécula de glicerol que tiene esterificados sus tres grupos hidroxilos por tres ácidos grasos ya sean insaturados o saturados. Los triglicéridos forman parte de las grasas sobre todo de origen animal.

La síntesis de triglicéridos tiene lugar en el retículo endoplasmático de casi todas las células del organismo, pero es en el hígado, en particular en sus células parenquimatosas, los hepatocitos y en el tejido adiposo (adipocitos) donde este proceso es más activo y de mayor relevancia metabólica.

La biosíntesis de triglicéridos se compone de dos fases:

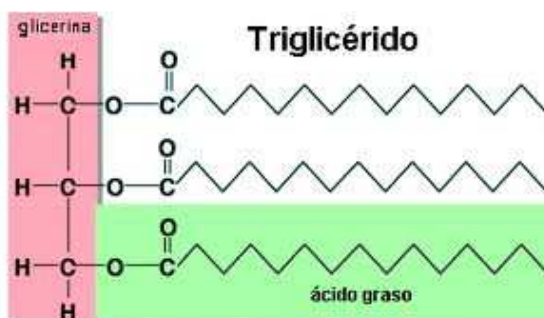
➤ Activación de los ácidos grasos. Los ácidos grasos son "activados" (convertidos en acil-CoA grasos) por conversión en sus ésteres con el coenzima A según la reacción:



➤ Ensamblaje de triglicéridos: La síntesis de triglicéridos consiste en la acilación sucesiva del esqueleto de glicerol-3-fosfato en sus tres átomos de carbono. La primera acilación, en el carbono 1,  $\alpha$ , es catalizada por la enzima glicerol-fosfato-acil-transferasa (GPAT, por su acrónimo inglés) y da como resultado la formación de ácido lisofosfatídico. La segunda acilación,  $\beta$ , es catalizada por la enzima acil-glicerol-fosfato-acil transferasa (AGPAT), generándose ácido fosfatídico. Una etapa previa a la formación de diacilglicerol, el precursor directo de los triglicéridos, es la defosforilación del ácido fosfatídico. Esta reacción es catalizada por una familia de enzimas parcialmente caracterizadas, las fosfatasa del ácido fosfatídico (PPAPs, su acrónimo inglés), de las cuales las más estudiadas es la familia de las lipinas.

Finalmente, la acilación en posición  $\alpha'$  del diacilglicerol es catalizada por la enzima diacilglicerol-acil-transferasa (DGAT, en el caso del diacilglicerol).

**Ilustración 11:** Estructura del triglicérido.



Normalmente la primera posición del glicerol es ocupada por un ácido graso saturado, la segunda,  $\beta$ , por un mono o poliinsaturado y la tercera,  $\alpha'$ , indistintamente por uno o por otro. El tipo de ácidos grasos así como su orden de posición, determinan las propiedades físico-químicas y biológicas del triglicérido (Beriaín *et al.*, 2009; Montes, J. 2012)

### 3. DIGESTIÓN RUMINAL DE LAS GRASAS

Las grasas de los alimentos sufren dos grandes transformaciones en el rumen: lipólisis y biohidrogenación. Además, las bacterias sintetizan AG de novo a partir de precursores carbonados, por lo que los lípidos que alcanzan el duodeno están compuestos de AG de origen dietario y microbiano.

A consecuencia de la digestión microbiana ruminal, los lípidos que abandonan el rumen son principalmente AGS no esterificados de origen bacteriano (70%), y cantidades variables de fosfolípidos microbianos (10-20%) (Bauchart, 1993). Únicamente el 10-15% de AGP consumidos en la dieta escapa de la biohidrogenación ruminal (Givens *et al.*, 2006; Pérez., 2010).

#### 3.1. LIPÓLISIS

La lipólisis se refiere a la liberación por hidrólisis de los ácidos grasos esterificados en los triglicéridos, glucolípidos y fosfolípidos, siendo este paso imprescindible para que se dé la biohidrogenación de los AGI.

Es un proceso extracelular, y el glicerol y los azúcares que se liberan son rápidamente metabolizados por las bacterias ruminales que las convierten en ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente propinato y butirato. Los productos finales de la hidrólisis son los AG libres y no se han encontrado otros compuestos intermedios, como mono o diglicéridos, en contenidos ruminales.

El pH ruminal bajo, el aumento del nivel de grasa dietaria y la presencia de antibióticos pueden afectar a la tasa de lipólisis al afectar al crecimiento y actividad de las bacterias involucradas en este proceso (Bauman *et al.*, 2003).

La bacteria ruminal que ha sido identificada como responsable mayoritaria de los procesos de lipólisis de los triglicéridos es *Anaerovibrio lipolytica* mientras que la que hidroliza fosfolípidos y glucolípidos (presentes en los forrajes) es *Butyrivibrio fibrisolvens* (Harfoot y Hazlewood., 1988; Pérez., 2010).

#### 3.2. BIOHIDROGENACIÓN.

La biohidrogenación es el proceso de saturación de los dobles enlaces presentes en los AG. Este proceso es realizado por distintos tipos de bacterias ruminales, especialmente *Butyrivibrio fibrisolvens*. Debido a este proceso, la grasa animal de los productos derivados de los rumiantes contiene grandes cantidades de AGS.



Es imprescindible el paso previo de la lipólisis para que los AG tengan el grupo carboxilo libre (Demeyer y Hendericks, 1967).

Al descender la biohidrogenación ruminal se incrementa la digestibilidad intestinal de la grasa y por tanto aumenta su valor de energía neta (Zinn et al., 2000; Pérez., 2000).

El principal AG disponible para su absorción en el intestino es el ácido esteárico, sin embargo el ácido oleico es predominante en la musculatura de los rumiantes constituyendo aproximadamente el 40% del total de ácidos grasos (Bas y Monrad-Fehr., 2000; Bas y Sauvant., 2001). Este hecho se debe a que una gran parte del ácido esteárico absorbido es deshidrogenado previamente a su deposición tisular por la encima  $\Delta^9$ desaturasa (Bauman et al., 2006).

Los principales substratos de la biohidrogenación ruminal son el ácido linoleico y linolénico y la tasa de biohidrogenación ruminal aumenta al aumentar la insaturación de los AG. El ácido vaccénico también se produce por biohidrogenación ruminal del ácido linolénico (Harfoot y Hazelwood, 1997). El CLA ruminal y la producción de ácido vaccénico dependen de factores de la dieta como la fuente y nivel de grasa que se incluye en la alimentación y del forraje (Griinari y Bauman, 1999). Por esta razón la producción ruminal del ácido vaccénico está relacionada con el contenido de CLA en la carne y la leche.

El proceso de biohidrogenación del ácido linoleico se muestra en la ilustración 12. Primeramente se da una isomeración del enlace *cis*-9 a *trans*-11CLA (ácido ruménico). Posteriormente se dan dos reducciones sucesivas a la de ácido oleico 11-*trans* (ácido *trans*-vaccénico) y ácido esteárico.

**Ilustración 12:** Proceso de biohidrogenación del ácido linoleico en el rumen. (Harfoot y Hazelwood, 1988).

### Ácido linoleico (*cis*-9, *cis*-12 octadecadienoico)

Isomerización



### Ácido linoleico conjugado (*cis*-9, *trans*-11 octadecadienoico)

Reducción



### AG-trans (*trans*-11 octadecenoico)

Reducción



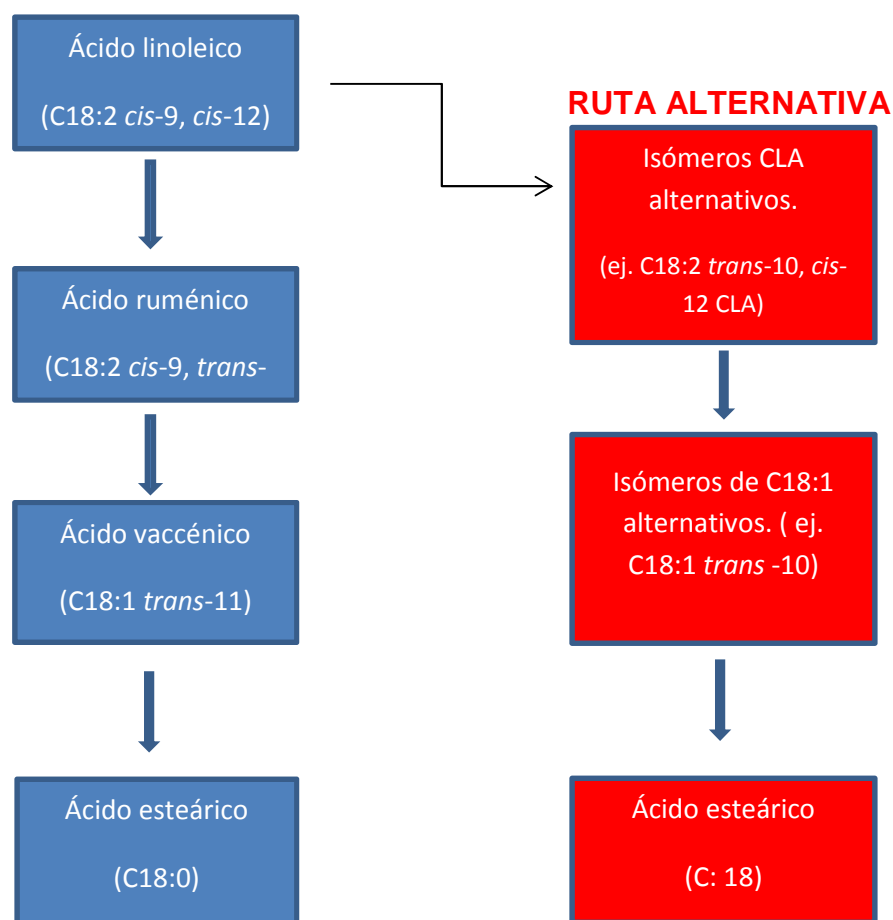
### Ácido esteárico

Como podemos ver en la ilustración, la biohidrogenación del ácido linoleico comienza con la isomeración del enlace *cis*-12 a *trans*-11, formándose el ácido ruménico. En una segunda fase, el enlace *cis*-9 es hidrogenado para formar ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11) (Bauman *et al.*, 1999).

El producto final de la biohidrogenación del ácido linoleico es el ácido esteárico. En este proceso se forman otros productos intermedios como son los ácidos grasos conjugados (CLA). Principalmente se forman el ácido ruménico (ácido *cis*-9, *trans*-11) y ácidos grasos monoinsaturados con el doble enlace en configuración *trans* (ácido *trans*-vaccénico: *trans*-11 octadecenoico; Fellner *et al.*, 1995).

La biohidrogenación del ácido  $\alpha$  linolénico comienza igualmente con la isomerización del enlace *cis*-12 a *trans*-11, posteriormente se hidrogenan los enlaces *cis*-9 y *cis*-15 dando lugar a ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11).

En determinadas circunstancias, la población microbiana se desequilibra y se alteran los patrones de fermentación ruminal, siendo entonces cuando las fermentaciones transcurren por una ruta alternativa en la que el enlace *cis*-9 del ácido linoleico se isomeriza a *trans*-10 y posteriormente se hidroliza el enlace *cis*-12 (Ilustración 13). Bauman y Griinari (2003) indican que estas alteraciones en los procesos de biohidrogenación se producen en raciones con alto contenido en concentrado o con alto contenido en AGP. La actividad de la enzima  $\Delta^9$  desaturasa es inhibida por la presencia del isómero C18:2 *trans*-10, *cis*-12.

**Ilustración 13:** Biohidrogenación ruminal del ácido linoleico (Harvatine *et al.*, 2009)

La biohidrogenación del ácido linoleico no llega generalmente a completarse, por lo que cantidades significativas de ácidos grasos conjugados y, especialmente transmonoinsaturados alcanzan el duodeno, son absorbidos y se retienen en la leche o en el tejido adiposo. La conversión del CLA en ácido *trans*-vaccénico es más rápida que la biohidrogenación de éste a ácido esteárico, por lo que el ácido *trans*-vaccénico tiende a acumularse en los productos finales.

En la tabla 2 se observa cómo en aquellas dietas suplementadas con aceite de soja o de girasol y que por lo tanto son dietas ricas en ácido linoleico fácilmente accesible para las bacterias del rumen, el contenido duodenal del ácido transvaccénico es elevado (Demeyer y Doreau, 1999., Beorlegui, 2004).

**Tabla 2:** Efecto del tipo de dieta sobre la concentración (mg/100 mg AG) de ácido *transvaccénico* en el duodeno (Demeyer y Doreau, 1999., Beorlegui, 2004).

<b>Dieta</b>	<b>Biohidrogenación %</b>	<b>C18:1 <i>trans</i></b>	<b>Referencias</b>
<b>Control.</b>	67,3	4,2	Wu <i>et al.</i> , 1991
<b>Control + 3% jabones Ca palma</b>	58,3	3,3	
<b>Control + 6% jabones Ca palma</b>	53,0	2,5	
<b>Dieta + 5,7% aceite de soja.</b>	89,5	37,0	Enjalbert <i>et al.</i> , 1994
<b>Control.</b>	71,1	6,7	Kalscheur <i>et al.</i> , 1994
<b>Control + 3,7% aceite de girasol.</b>	80,1	20,1	

El grado de hidrogenación de los ácidos linoleico y linolénico es casi total en dietas con menos de un 70% de concentrado, que es el caso habitual en rumiantes extensivos y lecheros. Por otro lado, en rumiantes alimentados con dietas altamente concentradas da lugar a un menor grado de hidrogenación, por lo que aumenta el grado de insaturación de los lípidos que llegan al duodeno (Doreau y Ferlay, 1994) (Tabla 3).

**Tabla 3:** Efecto del nivel de concentrado en la dieta sobre la biohidrogenación (%) de los ácidos linoleico y linolénico (según revisión de Doreau y Ferlay, 1994).

	<b>Proporción de concentrado en la dieta</b>	
	<b>&lt; 70%</b>	<b>&gt;70%</b>
<b>Ácido linoleico</b>	60-95	35-60
<b>Ácido linolénico</b>	8-100	50-80

### 3.3. ENZIMAS $\Delta$ DESATURASAS

Los mamíferos presentan cuatro enzimas desaturasas dependiendo del sitio en donde hacen la doble ligadura (posiciones 9, 6, 5 y 4).

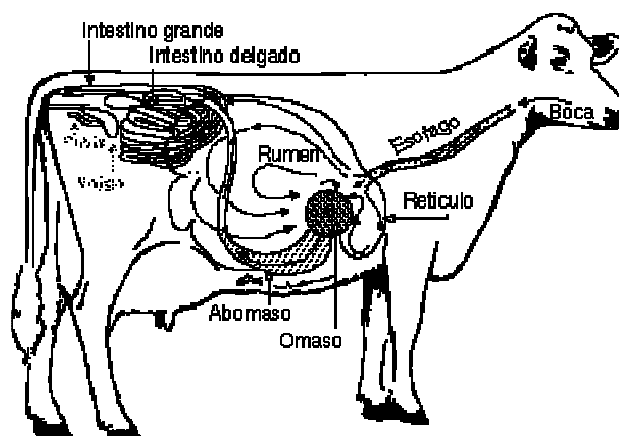
Estas enzimas son las encargadas de sintetizar los principales ácidos grasos monoinsaturados. Los rumiantes, como todos los mamíferos, no pueden sintetizar ácidos grasos con dobles enlaces entre el noveno carbono, contado desde el grupo hidroxilo, y el grupo metilo terminal, de ahí que los ácidos linoleico y linolénico son nutrientes esenciales en la dieta (McDonald y *col.*, 2006; Martínez *et al.*, 2010). La  $\Delta^9$  desaturasa se encarga de sintetizar ácido oleico (C18:1n-9) y ácido palmitoleico (C16:1n-7) a partir del ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0).

Las saturasas pueden actuar indistintamente sobre ácidos de cualquiera de las series en las etapas correspondientes. Esto produce situaciones de competencia entre unas series y otras, la  $\Delta^6$  desaturasa tienen más afinidad por los ácidos grasos más insaturados. Sin embargo este efecto puede ser contrarrestado por la mayor cantidad de los derivados n-6 que se encuentran generalmente en nuestra dieta. Si se consume mucho linoleico (C18:2 n-6) y poco alfa linolénico (C18:3 n-3), la vía prioritaria de acción de las desaturasas será la omega 6, con inhibición de las etapas correspondientes en las series restantes (Mataix y Sánchez., 2005).

### 3.4. ABSORCIÓN, TRANSPORTE Y CAPTACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS.

El estómago de los rumiantes se caracteriza por tener cuatro compartimentos, retículo, rumen, omaso y el estómago verdadero o abomaso.

**Ilustración 14:** Sistema digestivo en rumiantes



La rumia disminuye el tamaño del alimento, aumenta el peso específico de los forrajes, rompe las membranas permeables de los tejidos vegetales y aumenta la superficie de los forrajes para que los microorganismos ruminales se fijen y realicen el proceso digestivo:

- Digestión de los carbohidratos como la celulosa, hemicelulosa, y almidón a glucosa.
- Conversión de glucosa en ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acético, propiónico y butírico.
- Digestión de la proteína de los alimentos.
- Síntesis de proteínas bacterianas.
- Síntesis de vitaminas.

- Digestión de grasas.
- Hidrogenación de grasas insaturadas.

Es en el abomaso o estómago verdadero donde el bolo alimenticio se expone a la hidrólisis ácida, pasando posteriormente al intestino delgado donde se produce la digestión enzimática y la absorción de nutrientes.

Las proporciones de los distintos ácidos grasos disponibles para la absorción intestinal, tiende a reflejar el perfil de ácidos grasos de los productos de los rumiantes. Givens (2005), señaló que la carne y la leche contienen respectivamente 45-55 y 70-75 g de AGS por cada 100 g de grasa, de los que más de la mitad son de cadena media (10 a 16 carbonos), en tanto que los AGP totales suman menos de 5 g/100g en ambos. Sin embargo, el metabolismo de los lípidos en los tejidos y la transferencia de AG entre ellos pueden influir en la composición de la grasa de los productos de los rumiantes.

Las dietas corrientes de los rumiantes contienen generalmente entre 2 y 5% de lípidos, de los que cerca de la mitad son ácidos grasos (Doreau y Ferlay, 1994). Uno de los motivos principales para incrementar el tenor graso de la dieta suministrada es aumentar su concentración energética (Chilliard y Ollier, 1994). Igualmente, la inclusión de fuentes de grasa apropiadas en la dieta de los rumiantes permite incrementar el contenido del ácido linoleico conjugado (CLA) y los ácidos grasos poliinsaturados (AGP) de la serie n-3, eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA), en la carne y la leche con la consiguiente mejora de sus cualidades saludables para el ser humano (Collomb et al., 2006; Givens et al., 2006; Schmid et al., 2006). Sin embargo, en ambos casos, los resultados obtenidos están estrechamente ligados al proceso digestivo de los rumiantes, en particular a causa de las modificaciones que los lípidos sufren por la fermentación microbiana ruminal (Bell, 1982).

## 4. FACTORES QUE AFECTAN A LA COMPOSICIÓN DE LA GRASA

### 4.1. DIETA

El objetivo principal de la modificación del perfil lipídico de la grasa mediante la alimentación, es la de variar la relación AGP/AGS a favor de los AGP y en especial la serie n-3, y aumentar el contenido de los isómeros del CLA.

Las fuentes de grasa que resultan interesantes para que se produzca una mejora en la calidad de la carne, son las que aportan AG como el linoleico, linolénico, ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) todo ello eligiendo bien la ración suministrada y la duración del periodo de alimentación.

➤ **Forraje:** Los animales pueden consumir los forrajes en tres estados, verde, heno y ensilaje. En los forrajes verdes predomina el ácido linolénico (50%) y el ácido linoleico (10-20%), por el contrario en los forrajes conservados la cantidad de ácido linoleico y oleico es mayor en proporción, mientras que el ácido linolénico desciende una media del 20% (Morand-Feher y Tran, 2001).

En general una alimentación a base de forraje produce menos cantidad de AGV que aquellas en las que la base del concentrado son altas cantidades de carbohidratos y proteínas fácilmente fermentables (Eglantina. M, 1999).

La alimentación a base de forrajes es un medio seguro de aporte de ácido linolénico, sin embargo la transferencia de los AGPI al músculo es baja debido a que tanto la hidrólisis como la biohidrogenación del rumen son más intensas cuando se da este tipo de alimentación.

➤ **Concentrado:** suelen ser productos con un bajo nivel en fibra y altos contenidos energéticos. En los lípidos de los cereales, en sus subproductos y en las leguminosas, el ácido graso mayoritario es el linoleico (>50%), y sus contenidos en AGS son inferiores al 20%, predominando el ácido palmítico (>70%) (Morand-Fehr y Tran, 2001). Varela *et al.*, 2004 señalan que los terneros alimentados con silo de maíz y concentrados aumentan las concentraciones de linoleico y en menor medida del linolénico, además de aportar una peor relación n6/n3 que los animales finalizados con pasto.

Como hemos visto en el apartado 3.3, la tasa de biohidrogenación influye en la tasa de AGP que se deposita en el depósito graso, por ello, es interesante proteger las semillas incorporadas en la dieta. Para ello las propias semillas ya poseen una protección natural que depende de su dureza y de su

estado: enteros, aplastados y molidos. Los granos de soja y girasol presentan una buena protección mientras que los granos de lino no.

El lino extrusionado a temperaturas moderadas (140 a 150 o °C) si lo comparamos con otros ingredientes extrusionados pobres en AGP, no disminuye la biohidrogenación del ácido linolénico en relación a los granos enteros y tiene, sobre todo, tendencia a aumentar los intermediarios de la biohidrogenación, tales como los isómeros *trans*.

Algunos forrajes como el trébol violeta, proporcionan una protección parcial contra la biohidrogenación. La enzima polifenoloxidasas que posee el trébol violeta, transforma los difenoles en quinonas las cuales aseguran una protección parcial contra la biohidrogenación (Doreau *et al*, 2012).

Existen métodos tecnológicos que consiguen bajar la velocidad y la amplitud de la biohidrogenación de los lípidos. Algunos de estos métodos son:

- Encapsulación de los aceites emulsionantes en una matriz de proteínas tratadas con formol. La cubierta de proteínas protege los lípidos de los ataques de los microorganismos del rumen, luego se disocia en el cuajar, permitiendo la liberación de los lípidos en el intestino delgado. Es el método más eficaz pero es de elevado coste.

- Jabones cálcicos: muy utilizados para incorporar AG de palma. Se consideran inertes ya que no afectan a la digestión de las fibras en el rumen, igualmente a dosis altas. Sin embargo, no son eficaces para proteger a los AGP de la biohidrogenación ruminal. Los jabones de calcio también se emplean para proteger CLA sin tener un resultado claro.



#### 4.1.1. INCLUSIÓN DE DIFERENTES FUENTES LIPÍDICAS EN LA MEJORA DEL PERFIL LIPÍDICO DE LA CARNE (COMPOSICIÓN DE LAS FUENTES DE GRASA, UTILIZACIÓN DE SUPLEMENTOS GRASOS EN GANADO).

Las principales fuentes en la mejora del perfil lipídico de la carne son los aceites y semillas de oleaginosas, las cuales los mayores porcentajes de grasa en la MS oscilando entre el 19% de la semilla de soja y el 49% de colza (MAFF, 1975; Pérez., 2010).

Las grasas de origen animal como el sebo, la manteca o mezclas de distinto origen, se utilizan poco en la alimentación de ganado.

Las fuentes de origen vegetal que se utilizan como suplemento graso en ganado son principalmente:

- Aceite de oliva: el ácido oleico con un 77% es su ácido graso mayoritario, seguido del ácido palmítico con un 10%, el ácido esteárico con un 3,5% y el ácido linoleico con un 6,44% (FEDNA, 2012).

- Aceite de palma: los ácidos grasos mayoritarios que contiene el aceite de palma son el ácido palmítico con un 42,57%, el ácido oleico con un 40% y el ácido esteárico con un 5% (FEDNA, 2012).

- Aceite de soja: el aceite de soja contiene cantidades importantes de ácido linoleico 53,46%, y debido a que tiene cantidades apreciables de ácido linolénico, 7%, no se produce una disminución del ratio n6/n3 apreciable como se produciría si se incluyera aceite o semilla de lino en la dieta (Peres., 2010).

- Aceite de maíz: el aceite de maíz, es rico en ácidos grasos como el linolénico con un 55,5%, el ácido oleico con un 25,74% y el ácido palmítico con un 10% según las tablas de FEDNA 2010. Peres, (2010), cita en su trabajo el realizado por Gillis *et al.*, (2004), el que después de administrar a terneras una dieta basada en cebada y heno de alfalfa suplementada con diferentes tipos de grasas, 0% suplemento, aceite de maíz (4%) y sales CLA protegidas, observó que el contenido de ácido linoleico en el tejido adiposo fue mayor para las hembras suplementadas con aceite de maíz.

- Semilla y aceite de colza: el ácido graso mayoritario en el aceite de colza, es el ácido oleico con un 57%. El ácido linoleico se encuentra en un porcentaje del 20% y el linolénico en un porcentaje del 8% (FEDNA, 2012). Aunque el aceite de colza tiene una cantidad apreciable de ácido linolénico, como en el caso del aceite de soja, el ratio n-6/n-3 es alto debido a la gran cantidad de ácido linoleico que contiene (Raes *et al.*, 2002; Peres ., 2010).

➤ Semilla y aceite de girasol: en el aceite de girasol el ácido linoleico es el ácido graso mayoritario con un 62%, seguido del ácido oleico, 22% y del ácido esteárico con un 5% (FEDNA, 2012).

#### 4.1.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA DE LINO

La semilla de lino (*Linum usitatissimum* L.) se ha utilizado tradicionalmente como oleaginosa. En los últimos años ha surgido un creciente interés por ella debido a los efectos beneficiosos para la salud que otorgan sus componentes. Entre los componentes con actividad biológica, se encuentran el ácido graso linolénico n-3, los lignanos y la fibra dietética.

La semilla de linaza es de 4 a 6 mm de longitud, aplanada, de forma oval y con un extremo aguzado. La cubierta de la semilla es de apariencia suave y brillante, y su color puede variar entre marrón oscuro y amarillo claro. El peso de 1000 semillas es de  $5 \pm 1$  g y su peso del hectolitro fluctúa entre 55 y 70 kg (Daun *et al.*, 2003; Oomah, 2003; Figuerola *et al.*, 2008).

La semilla de lino, contienen alrededor del 40% de lípidos, 30% de fibra dietética y 20% de proteína.

**Tabla 4:** Composición en ácidos grasos de las semillas de lino (Belitz *et al.*, 1997; Montes., 2012).

Ácido graso	Composición %
Ácido palmítico (16:0)	6,5
Ácido esteárico (18:0)	3,5
Ácido oleico (18:1)	18
Ácido linoleico ( 18:2)	14
Ácido linolénico ( 18:3)	58

Entre los minerales, destaca el contenido de potasio, fósforo, hierro, zinc y manganeso. La semilla contiene además, vitaminas del grupo B. Como muchas semillas oleaginosas, contiene tocoferoles y tocotrienoles, estando muy relacionado su contenido con la presencia de ácido  $\alpha$  linolénico. También la mayoría de las variedades de linaza contienen esteroides como estigmasterol, campesterol y avenasterol; y, carotenoides como luteína,  $\beta$ -caroteno y violaxantina (Hall *et al.*, 2006; Figuerola *et al.*, 2008).

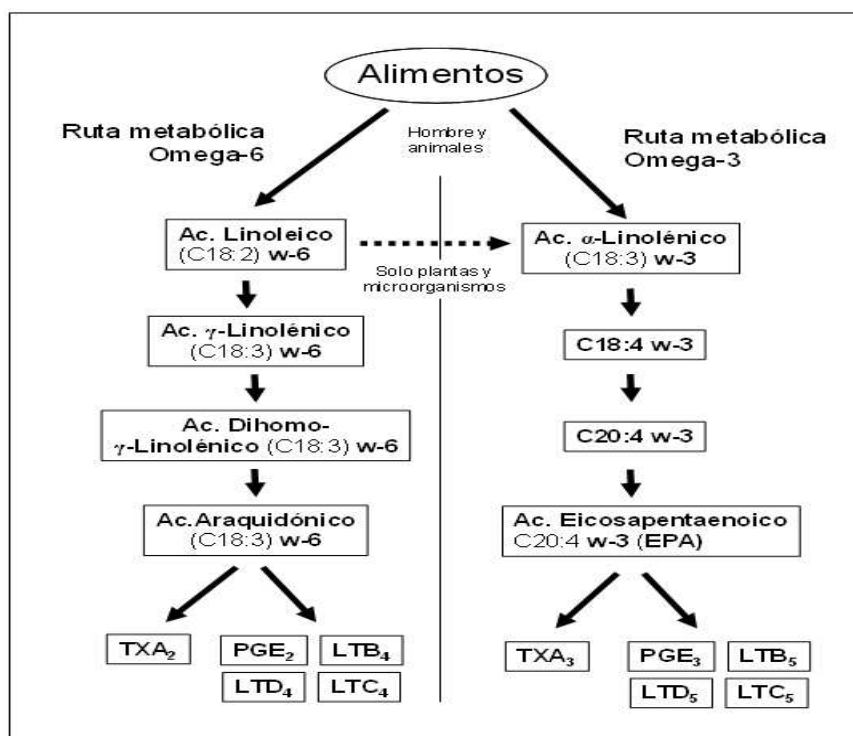
Se recomienda el uso de la semilla molida para una mejor digestibilidad y biodisponibilidad, ya que la semilla entera tiende a pasar por el tracto intestinal sin ser digeridas debido a la resistencia de la cubierta de la semilla a las enzimas digestivas (Morris y Vaisey-Genserb, 2003; Figuerola *et al*, 2008).

#### 4.1.1.1.1 LOS ÁCIDOS GRASOS OMEGA- 3

La linaza es una de las principales fuentes de ácido alfa linolénico, un ácido graso omega 3 ubicado principalmente en los cotiledones de la semilla, que ha demostrado reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Por esta razón, la linaza es una valiosa fuente de lípidos para mejorar la relación entre ácidos grasos n-6 y n-3. Sin embargo, la opinión de los expertos respecto del valor del consumo de ALA está dividida, dado que la conversión de ALA en ácido eicosapentaenoico (EPA) y en ácido docosahexaenoico (DHA) en los seres humanos es baja (0,2 a 6%) (Cunnane, 2003; Daun *et al.*, 2003; Stavro *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006; Figuerola *et al*, 2008).

La importancia fisiológica de aumentar los Omega-3 respecto a los AG Omega-6 reside en que son precursores de una importante familia de moléculas, los eicosanoides dentro de los cuales encontramos las prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos. Éstos poseen potentes efectos metabólicos sobre el organismo y constituyen una de las claves principales del funcionamiento de los AG Omega-3. La ruta metabólica de síntesis comienza con la toma de un AG de los fosfolípidos de su membrana usando la fosfolipasa A2. Dependiendo del tipo de AG que ingrese en la ruta metabólica de síntesis de los eicosanoides se obtendrán moléculas con muy diferente actividad (Ilustración 15).

**Ilustración 15:** Ruta metabólica de síntesis de eicosanoides Omega-3 vs Omega-6. Separadas en el caso de los vertebrados y con capacidad de regulación por parte de las plantas y *microorganismos*.



Cuando el AG precursor es Omega-6 el resultado es la síntesis de tromboxano A2 (TXA<sub>2</sub>), prostaglandina E2 (PGE<sub>2</sub>) y leucotrieno B4 (LTB<sub>4</sub>), C4 (LTC<sub>4</sub>) y D4 (LTD<sub>4</sub>), moléculas con potente efecto agregante plaquetario y mediadores de la inflamación.

Mientras que si el precursor de la ruta metabólica es un AG Omega-3 (EPA o DHA) se produce tromboxano A3 (TXA<sub>3</sub>), prostaglandina E3 (PGE<sub>3</sub>) y leucotrieno B5 (LTB<sub>5</sub>), C5 (LTC<sub>5</sub>) y D5 (LTD<sub>5</sub>) con un débil efecto agregante plaquetario y una menor actividad como medidores de la inflamación (Ilustración 14).

El efecto final de esta ruta metabólica cebada por los Omega-3 es un efecto antiinflamatorio por modulación de sus mediadores al sustituirlos por otra serie de moléculas de menor actividad pro-inflamatoria.

Los AG Omega-3 también tienen la capacidad de modular muchos otros procesos del sistema inmunitario como la producción de citoquinas, expresión de receptores de membrana, producción de especies oxidantes, producción de eicosanoides, capacidad de fagocitosis, quimiotaxis, apoptosis, ejerciendo un efecto inmunomodulador.

#### 4.1.1.2. EFECTOS A NIVEL RUMINAL

Fuentes (2010) cita los trabajos de tres autores, los cuales observaron algún tipo de variación en la digestibilidad y la fermentación ruminal después de suplementar la dieta con semilla de lino.

Ueda et al. (2003), observó que al suplementar dietas de vacas lecheras (65:35 forraje: concentrado) con un 3% de aceite de lino, la digestibilidad de la materia seca (MS) y la materia orgánica (MO) aumentaba y que también había una tendencia hacia una mayor digestibilidad de la fibra neutro detergente (FND) y la fibra ácido detergente (FAD). Los autores determinaron finalmente que la suplementación con aceite de lino no afectaba a la digestibilidad ruminal en el tracto total en vacas.

Gonthier *et al.* (2004), también observó que la adición de la semilla de lino a la dieta no ocasionaba efectos adversos en la digestión ruminal.

Petit (2002), sin embargo, observó que aquellas vacas que eran alimentadas con semilla de lino entera, presentaban menores digestibilidades en el tracto total de las FND (45,5 vs 51.5%) y del extracto etéreo (EE) (80,0 vs 86,7%), en comparación con las alimentadas con Megalac®. Esto lleva a pensar que las enzimas y las bacterias ruminales tienen mejor acceso a las grasas añadidas en forma de jabones cálcicos que las grasas añadidas en forma de semilla entera.

#### 4.2. SEXO

Las diferencias metabólicas que existen entre machos y hembras, se traduce en una diferente composición de ácidos grasos en la grasa.

Los machos poseen una grasa más blanda debido a su mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados como el linoleico y linolénico y un menor contenido en ácidos grasos saturados como el palmítico y el esteárico, en contraposición a las hembras, que como consecuencia de una mayor proporción de esteárico y palmítico poseen una grasa más saturada (Wood, 1984; Velasco., 1998).

Las diferencias en la insaturación de la grasa según el sexo es menor en la grasa intramuscular que en la subcutánea (Kemp *et al.*, 1981; Velasco., 1998).

### 4.3. ESPECIE

El perfil de ácidos grasos varía entre las especies de animales productores de animales, constituyendo una característica de las mismas. A continuación se muestran los porcentajes de los diferentes ácidos grasos que se encuentran en el músculo de diferentes especies:

**Tabla 5:** Composición de los principales ácidos grasos % del músculo procedentes de diferentes especies zootécnicas (Enser *et al.*, 1996).

Ácido graso	Porcentaje de peso del total de ácidos grasos		
	Vacuno	Ovino	Porcino
12:0	0,08	0,31	0,12
14:0	2,66	3,30	1,33
16:0	25,0	22,2	23,2
16:0 <i>cis</i>	4,54	2,20	2,71
18:0	13,4	18,1	12,2
18:1 <i>trans</i>	2,75	4,67	No detectado
18:1n-9	36,1	32,5	32,8
18:1n-7	2,33	1,45	3,99
18:2n-6	2,42	2,70	14,2
18:3n-3	0,70	1,37	0,95
18:3n-6	No detectado	No detectado	0,06

Se observa en todas las especies un predominio del ácido oleico, esteárico y palmítico siendo el ganado vacuno el que mayor porcentaje presenta en los ácidos oleico y palmítico.

**Tabla 6:** Composición en ácidos grasos % del depósito muscular en diferentes especies zootécnicas (Enser *et al.*, 1996).

Especie	% ácidos grasos		
	Saturados	Monoinsaturados	Poliinsaturados
Vacuno	43	48	4
Ovino	50	39	5
Porcino	37	41	15
Avícola	33	42	19

En general los rumiantes presentan una grasa más saturada, debido a la biohidrogenación que se produce en el rumen y que satura los ácidos grasos poliinsaturados que se consumen en la dieta (Smith *et al.*, 1993). En la tabla se observa como el porcino acumula mayor cantidad de AGP, principalmente ácido linoleico debido a que es absorbido por el intestino y llega a los tejidos sin cambios al no producirse la biohidrogenación.

#### 4.4. RAZA

Aunque el origen genético parece tener influencia en la cantidad de lípidos depositados, tiene poco efecto sobre la composición de ácidos grasos de los bovinos (Flancy.,1972; Velasco., 1998). La precocidad de una raza también parece influir en la saturación de la grasa.

##### **Raza frisona**

Es la raza de vacuno más extendida del mundo. Procede de la región de Frisia y Holanda del Norte y está reconocida mundialmente por su gran aptitud lechera.

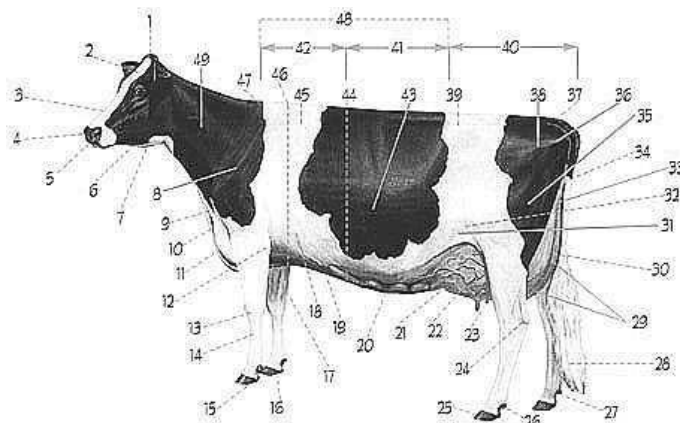
Aproximadamente puede llegar a los 650 kg y a una estatura de 1.50 m. De poca masa y proporcionado hueso. Posee una ligera tendencia al diformismo sexual en su estructura. Su condición lechera aporta a las hembras un sistema mamario equilibrado con ligamentos suspensores fuertes y unas ubres de amplia base y profundidad moderada.

El pelaje puede ser blanco y negro o blanco y café.

La producción lechera de esta raza asciende a los 6000 kilos con 3,70% de grasa y 3,20% de proteína en un periodo de 305 días, debido a que detiene su producción antes del parto.

El primer parto se suele producir a los 17 meses edad, teniendo posteriormente un parto al año.

**Ilustración 16:** Características de la raza frisona (CONAFE).



1. Testuz	17. Base del pecho	34. Cola
2. Frente	18. Costillas Anteriores	35. Muslo y Nalga
3. Puente de la nariz	19. Fuentes de leche	36. Isquión
4. Morro	20. Venas Mamarias	37. Inserción de la Cola
5. Ventana de la nariz	21. Inserción Ubre Anterior	38. Coxo Femoral
6. Mandíbula	22. Ubre Anterior	39. Ilión
7. Garganta	23. Pezón	40. Grupa
8. Espalda o Paletas	24. Corvejón	41. Lomo
9. Punta del hombro	25. Pezuña	42. Dorso
10. Papada	26. Dedo del menudillo	43. Costillas Posteriores
11. Pecho	27. Cuartilla	44. Barril
12. Codo	28. Borla de la cola	45. Retroescápula
13. Rodilla	29. Ligamento suspensor	46. Perímetro torácico o Cinchera
14. Caña	30. Ubre Posterior	47. Cruz
15. Planta	31. Flanco	48. Línea Dorso-Lumbar
16. Talón	32. Babilla	49. Cuello
	33. Inserción Ubre Posterior	



#### 4.5. LOCALIZACIÓN ANATÓMICA

Los depósitos grasos subcutáneo e intramuscular son los que más influyen a la hora de valorar la calidad de la carne debido a que se asocian con la jugosidad y el aroma de la misma. Se sabe que en rumiantes la insaturación de los depósitos grasos varía según la localización anatómica, siendo la grasa subcutánea menos insaturada que la intramuscular pero más que la intermuscular (Ostranger y Dugan 1962; Hildritch y Williams, 1964; Eichhorn *et al.*, 1986; Velasco., 1998).

En los rumiantes, la composición de ácidos grasos de la grasa subcutánea varía con la distancia a la piel y normalmente, pero no invariablemente, hay un gradiente de insaturación con la capa de grasa más profunda, siendo de consistencia más firme, más saturada y con mayor contenido de ácido esteárico que la localizada inmediatamente subcutánea (Leat, 1975; Velasco., 1998).

# OBJETIVOS

---

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la adición de lino y/o CLA en la dieta de terneros frisonos sobre el perfil de ácidos grasos del depósito subcutáneo.

# *MATERIAL Y MÉTODOS*

## 1. MATERIAL ANIMAL

Para el presente estudio, se utilizaron un total de 48 terneros sin castrar de raza Frisona. Los animales fueron comprados con 100-110 kg de peso vivo y criados en la finca de experimentación del CITA (Aragón). Al alcanzar los 150 Kg de peso vivo fueron alimentados con 4 tipos de dietas (12 animales por dieta), hasta entonces se les alimentó con paja y pienso de arranque B11 de la marca ALENDI. Las dietas experimentales son:

### **CONTROL:**

Pienso utilizado en el cebo tradicional pero enriquecido con vitamina E para que aporte 1000 UI/animal/día.

### **Lino:**

Pienso de características similares al control pero enriquecido con un 10% de lino, materia prima rica en ácidos grasos omega-3.

### **CLA:**

Pienso de características similares al control pero enriquecido con un 2% de ácido linolénico conjugado (CLA).

### **LINO + CLA:**

Pienso de características similares al control pero enriquecido con un 10% de lino y 2% de ácido linolénico conjugado (CLA)

En las dietas se empleó Lino en forma de semilla, y el CLA estaba formado por isómeros del ácido graso (C18:0) con un contenido del 10% de  $\Omega$ -6 protegido de la degradación ruminal (Lutrell ® Pure). Las cuatro dietas eran isoproteicas e isoenergéticas y se formularon con una suplementación de 110 mg de vitamina E/Kg de pienso (Tabla 7).

**Tabla 7:** Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

	Control	Lino	CLA	Lino+CLA
<b>Ingredientes (%MF)</b>				
Harina de maíz	40,00	40,00	40,00	35,00
Harina de cebada	21,58	18,77	21,65	19,79
Harina de soja	15,09	13,21	15,07	13,10
Gluten de maíz	12,00	5,00	12,00	6,00
Pulpa de remolacha	4,00	9,69	4,00	12,00
Semillas de lino (enteras)		10,00		10,00
CLA (Protegido del rumen)			2,00	2,00
Aceite de palma)	4,98	1,16	2,93	
Carbonato de calcio	1,23	1,05	1,23	0,99
Sal	0,20	0,20	0,20	0,20
Bicarbonato de sodio	0,50	0,50	0,50	0,50
Óxido de magnesio	0,20	0,20	0,20	0,20
Minerales y vitaminas premix <sup>1</sup>	0,20	0,20	0,20	0,20
Vitamina E <sup>2</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02

**Continuación tabla 7:** Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Composición química (%MS)				
Proteína bruta	16,6	17,6	16,6	16,8
Fibra neutro detergente	26,7	27,3	23,6	28,7
Fibra ácido detergente	6,1	8,2	5,9	8,2
Extracto Etéreo	9,7	5,1	9,1	5,2
Cenizas	6,8	6,4	7,1	7,2
EM (Mcal/Kg)	3,38	3,33	3,31	3,35

<sup>1</sup>Contenido por Kg: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 250gr, FHT 0,150 gr, MgO 50gr, Zn 20gr, Mn 15 gr, Fe 2,5 gr. Cu 1gr, Co 0,25 gr, I 0,25 gr, vitamina E 0,005gr, vitamina A 3500000UI, Vitamina D3 750000 UI.

<sup>2</sup>Contiene un 50% de  $\alpha$ -tocoferol.

En la tabla 8 se presenta el perfil lipídico de las dietas utilizadas en el ensayo.

**Tabla 8:** Perfil lipídico de las dietas experimentales (% grasa total)

Ácido graso	C	L	CLA	L+CLA	SEM	p-value
C12:0	0,17	0,30	0,23	0,20	0,058	0,482
C14:0	0,85 <sup>b</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,25 <sup>a</sup>	0,065	<0,001
C15:0	0,05	0,04	0,05	0,05	0,004	0,360
C16:0	36,46 <sup>c</sup>	17,22 <sup>a</sup>	26,08 <sup>b</sup>	11,85 <sup>a</sup>	1,972	<0,001
C16:1c9	0,16 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,007	<0,001
C18:0	4,33 <sup>a</sup>	3,23 <sup>a</sup>	14,27 <sup>b</sup>	16,18 <sup>b</sup>	0,966	<0,001
C18:1c9	27,96 <sup>d</sup>	20,73 <sup>b</sup>	23,58 <sup>c</sup>	15,07 <sup>a</sup>	0,597	<0,001
C18:2n6c9c12	27,10 <sup>a</sup>	34,84 <sup>b</sup>	26,41 <sup>a</sup>	25,45 <sup>a</sup>	1,692	0,007
C18:3n6	0,02 <sup>a</sup>	0,09 <sup>b</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,004	<0,001
C20:0	0,40	0,29	0,37	0,31	0,028	0,076
C18:3n3c9,c12,c15	2,03 <sup>a</sup>	22,24 <sup>b</sup>	1,91 <sup>a</sup>	23,47 <sup>b</sup>	1,127	<0,001

Continuación tabla 8: Perfil lipídico de las dietas experimentales (% grasa total)

Ácido graso	C	L	CLA	L+CLA	SEM	p-value
9c11tCLA	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	2,46 <sup>b</sup>	2,91 <sup>b</sup>	0,153	<0,001
10t12cCLA	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,012	<0,001
9c11cCLA	0,17 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,012	<0,001
9t11tCLA	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,59 <sup>b</sup>	0,34 <sup>ab</sup>	0,104	0,004
C20:1c11	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	2,65 <sup>b</sup>	3,08 <sup>b</sup>	0,152	<0,001
C20:2c11,c14	0,02 <sup>ab</sup>	0,04 <sup>c</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,03 <sup>bc</sup>	0,003	<0,001
C22:0	0,16 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>	0,22 <sup>ab</sup>	0,26 <sup>b</sup>	0,016	0,005
C20:4n6	0,00 <sup>a</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,002	<0,001
C22:1n9c13	0,00	0,00	0,01	0,02	0,005	0,061
C24:0	0,13	0,14	0,14	0,14	0,013	0,931
AGS	42,54 <sup>b</sup>	21,71 <sup>a</sup>	42,02 <sup>b</sup>	29,25 <sup>a</sup>	2,521	<0,001
AGM	28,13 <sup>c</sup>	20,88 <sup>b</sup>	26,37 <sup>c</sup>	18,25 <sup>a</sup>	0,584	<0,001
AGP	29,16 <sup>a</sup>	57,25 <sup>b</sup>	28,35 <sup>a</sup>	49,08 <sup>b</sup>	2,306	<0,001

C = control; L= Lino; CLA= CLA; L+CLA=Lino +CLA Diferentes letras en la misma línea, indican diferencias significativas (P<0.05). SEM: error estándar de la media.

El 27 de Enero de 2010 se inició el periodo experimental. El sacrificio de los animales se llevó a cabo a los 12 meses de edad y 450 kg de peso vivo, en el matadero de Zaragoza y de acuerdo con la legislación vigente de manipulación y sacrificio de animales (DOCE, 1999).

## 1.1ANÁLISIS DE LOS ÁCIDOS GRASOS TOTALES

Para el análisis del contenido en ácidos grasos se tomaron muestras del músculo *Longissimus dorsi* a la altura de la 10<sup>a</sup> vértebra torácica 24 horas después del sacrificio. Posteriormente, las muestras se congelaron a -20°C para su conservación hasta el momento del análisis. El método de extracción y metilación de la grasa fue el descrito por Aldai *et al.*, 2005. En el anexo se detalla el método mencionado.

Los ésteres de metilo se analizaron en un cromatógrafo modelo G3440A Agilent serie 7890<sup>a</sup> equipado con detector de llama de ionización e inyector *Splitless* cuyo flujo es de 60ml por minuto. La identificación de los ácidos grasos se realizará mediante estándares (Sigma-Aldrich Química, S.A., Spain), con una pureza en todos ellos del 99%. Como patrón interno se utilizará el ácido tricosanoico (C23:0).



Para la cuantificación por cromatografía gaseosa de los ácidos grasos presentes en las fracciones lipídicas se utilizó una recta de calibración con mezclas preparadas a partir de patrones de ácidos grasos en concentraciones similares a las que se espera encontrar en las muestras estudiadas.

## 1.2 MÉTODO ESTADÍSTICO

Se realizó un estudio descriptivo global de los datos, obteniendo la media, el error típico y la desviación típica de todos los ácidos grasos del depósito subcutáneo así como de los AGM, AGP, AGS, n6, n3, n6/n3, AGP/AGS, BAME Y CLA totales, según el lote.

Tras este estudio, se realizó el análisis univariante de la varianza donde la variable independiente era el lote y la variable dependiente, el ácido graso correspondiente:

$$Y_{ij} = \mu + L_i + e_{ij}$$

Siendo:

$Y_{ij}$  = Parámetros medidos

$\mu$  = Media de la población considerada

$L_i$  = Efecto dieta ( $i = 1$  lote control,  $i = 2$  lote lino  $i = 3$  lote CLA,  $i = 4$  lote Lino+CLA)

$e_{ij}$  = Efecto residual aleatorio.

Se completó el estudio con comparaciones múltiples *post hoc*; se eligió el procedimiento de Tukey.

Por último se realizó un estudio factorial. Para realizar un análisis factorial, se formula un modelo lineal en el que se explica el comportamiento de las variables observables ( $x_1, x_2, \dots, x_p$ ) mediante varios factores comunes a todas las variables y un factor único por variable. En análisis factorial suele aparecer el término de “rotación de factores” que consiste en modificar a posteriori el eje de coordenadas para facilitar su interpretación, obteniendo pocos factores comunes que sean lo más explicativos posible. La técnica más habitual es el método “varimax” que consiste en maximizar las sumas de las varianzas de los cuadrados de los pesos factoriales.

El programa informático empleado para todos los análisis estadísticos fue IBM SPSS Statistics 21.0.

# *RESULTADOS*

---

En las tablas 9,10,11 y 12 aparecen recogidos los valores medios de cada ácido graso presentes en la grasa subcutánea a la altura del músculo *Longissimus dorsi*, obtenidos para cada tratamiento experimental, además de otros parámetros calculados como ácidos saturados totales (AGS), ácidos monoinsaturados (AGM), ácidos grasos poliinsaturados (AGP), AGP/AGS, n3, n6, n6/n3, BAME y CLA totales.

**Tabla 1:** Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento control.

AG	Media		Desv. típ.	AG	MEDIA		Desv. tip
	Estadístico	Error típico	Estadístico		Estadístico	Error típico	Estadístico
C12:0	0,11	0,00	0,02	C18:2n6t9t12	0,40	0,01	0,06
isoC14:0	0,02	0,00	0,01	C18:2n6c9c12	1,85	0,06	0,28
C14:0	4,01	0,09	0,43	C18:3n6	0,03	0,00	0,01
isoC15:0	0,15	0,01	0,03	C20:0	0,10	0,00	0,02
C14:1c9	1,14	0,07	0,34	C18:3n3	0,10	0,00	0,02
anteisoC15:0	0,20	0,01	0,04	CLA9c11t	0,18	0,01	0,05
C15:0	0,55	0,01	0,05	CLA10t12c	0,04	0,00	0,01
iC16:0	0,11	0,00	0,02	C20:1c11	0,15	0,01	0,04
C15:1	0,02	0,00	0,00	CLA9c10c	0,02	0,00	0,01
anteisoC16:0	0,01	0,00	0,00	CLA9t11t	0,02	0,00	0,01
C16:0	30,65	0,33	1,60	C20:3n6	0,03	0,00	0,01
C16:1t9	0,34	0,03	0,13	C20:4n6	0,04	0,00	0,01
iC17:0	0,40	0,01	0,05	AGS	52,83	0,45	2,20
C16:1c9	4,85	0,17	0,83	AGM	44,40	0,46	2,26
anteisoC17:0	0,59	0,01	0,07	AGP	2,70	0,06	0,32
C17:0	0,78	0,02	0,10	n3	0,10	0,00	0,02
C17:1c10	0,59	0,01	0,06	n6	2,34	0,06	0,27
C18:0	15,15	0,47	2,28	n6/n3	23,28	0,62	3,01
C18.1t9	0,36	0,02	0,10	AGP/AGS	0,05	0,00	0,01
C18:1t11	3,51	0,15	0,71	BAME	1,48	0,01	0,06
C18:1c9	31,90	0,35	1,71	TOTAL CLA	0,25	0,01	0,06

**Continuación tabla 9:** Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento control.

C18:1c11	1,54	0,03	0,16				
----------	------	------	------	--	--	--	--

**Tabla 2:** Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento Lino.

AG	Media		Desv. típ.	AG	MEDIA		Desv. Tip
	Estadístico	Error típico	Estadístico		Estadístico	Error típico	Estadístico
C12:0	0,11	0,00	0,02	C18:2n6t9t12	0,99	0,02	0,12
isoC14:0	0,03	0,00	0,02	C18:2n6c9c12	1,86	0,07	0,34
C14:0	4,22	0,10	0,51	C18:3n6	0,04	0,00	0,01
isoC15:0	0,17	0,01	0,05	C20:0	0,12	0,00	0,02
C14:1c9	1,22	0,09	0,42	C18:3n3	0,79	0,04	0,21
anteisoC15:0	0,29	0,02	0,08	CLA9c11t	0,36	0,02	0,10
C15:0	0,58	0,02	0,11	CLA10t12c	0,05	0,00	0,01
iC16:0	0,12	0,01	0,04	C20:1c11	0,18	0,01	0,06
C15:1	0,02	0,00	0,00	CLA9c10c	0,06	0,01	0,03
anteisoC16:0	0,01	0,00	0,00	CLA9t11t	0,07	0,00	0,02
C16:0	27,37	0,32	1,58	C20:3n6	0,02	0,00	0,00
C16:1t9	0,24	0,01	0,07	C20:4n6	0,04	0,00	0,01
iC17:0	0,52	0,02	0,11	AGS	49,37	0,79	3,86
C16:1c9	4,67	0,22	1,05	AGM	46,33	0,82	4,00
anteisoC17:0	0,74	0,02	0,07	AGP	4,26	0,13	0,64
C17:0	0,84	0,02	0,11	n3	0,79	0,04	0,21
C17:1c10	0,73	0,02	0,11	n6	2,94	0,08	0,38
C18:0	14,26	0,80	3,92	n6/n3	3,95	0,19	0,91
C18.1t9	0,35	0,02	0,10	AGP/AGS	0,09	0,00	0,01
C18:1t11	3,83	0,24	1,18	BAME	1,88	0,03	0,14
C18:1c9	33,48	0,70	3,41	TOTAL CLA	0,54	0,02	0,11
C18:1c11	1,61	0,04	0,22				

**Tabla 11:** Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento CLA.

AG	Media		Desv. típ.	AG	MEDIA		Desv. tip
	Estadístico	Error típico	Estadístico		Estadístico	Error típico	Estadístico
C12:0	0,09	0,00	0,02	C18:2n6t9t12	0,43	0,01	0,07
isoC14:0	0,03	0,00	0,01	C18:2n6c9c12	1,89	0,06	0,31
C14:0	3,85	0,10	0,51	C18:3n6	0,03	0,00	0,01
isoC15:0	0,17	0,01	0,03	C20:0	0,11	0,00	0,02
C14:1c9	1,02	0,05	0,26	C18:3n3	0,12	0,01	0,02
anteisoC15:0	0,25	0,01	0,06	CLA9c11t	0,36	0,02	0,09
C15:0	0,56	0,02	0,09	CLA10t12c	0,10	0,01	0,04
iC16:0	0,13	0,01	0,03	C20:1c11	0,21	0,01	0,05
C15:1	0,02	0,00	0,01	CLA9c10c	0,02	0,00	0,01
anteisoC16:0	0,01	0,00	0,00	CLA9t11t	0,04	0,00	0,01
C16:0	28,24	0,33	1,61	C20:3n6	0,03	0,00	0,01
C16:1t9	0,28	0,02	0,11	C20:4n6	0,04	0,00	0,01
iC17:0	0,43	0,01	0,05	AGS	51,62	0,70	3,44
C16:1c9	4,19	0,19	0,92	AGM	45,27	0,68	3,32
anteisoC17:0	0,63	0,02	0,08	AGP	3,05	0,08	0,40
C17:0	0,87	0,03	0,15	n3	0,12	0,01	0,02
C17:1c10	0,64	0,02	0,11	n6	2,41	0,06	0,31
C18:0	16,25	0,38	1,85	n6/n3	20,57	0,55	2,67
C18.1t9	0,37	0,02	0,08	AGP/AGS	0,06	0,00	0,01
C18:1t11	4,08	0,19	0,91	BAME	1,83	0,02	0,08
C18:1c9	32,87	0,57	2,78	TOTAL CLA	0,52	0,02	0,12
C18:1c11	1,58	0,03	0,14				

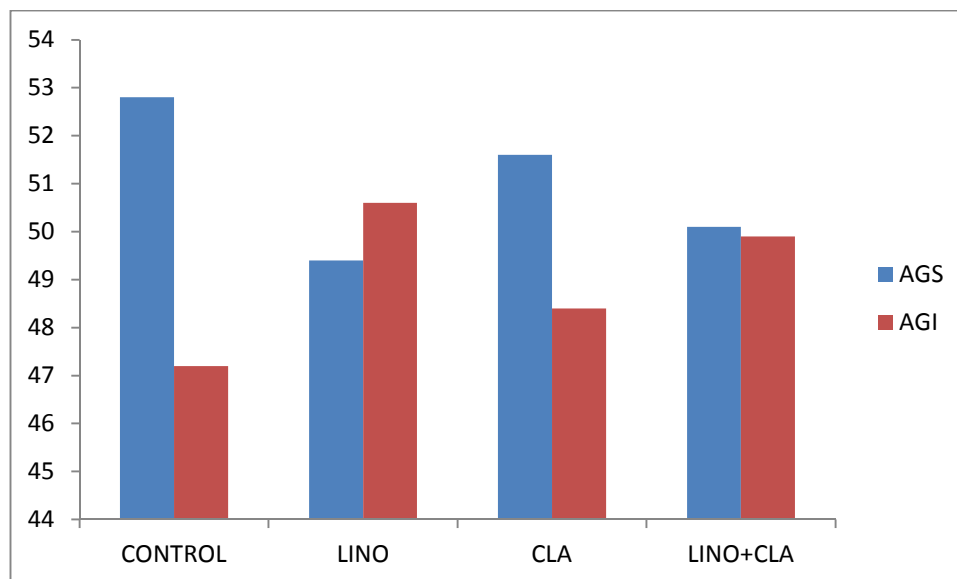
**Tabla 3:** Composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en el tratamiento Lino+CLA.

AG	Media		Desv. típ.	AG	MEDIA		Desv. tip
	Estadístico	Error típico	Estadístico		Estadístico	Error típico	Estadístico
C12:0laurico	0,10	0,00	0,02	C18:2n6t9t12	0,95	0,03	0,13
isoC14:0	0,03	0,00	0,01	C18:2n6c9c12	2,02	0,08	0,38
C14:0mirístico	4,12	0,12	0,58	C18:3n6	0,04	0,00	0,01
isoC15:0	0,18	0,01	0,05	C20:0	0,12	0,00	0,01
C14:1c9	0,84	0,07	0,32	C18:3n3	0,90	0,06	0,28
anteisoC15:0	0,30	0,02	0,08	CLA9c11t	0,58	0,03	0,15
C15:0	0,60	0,03	0,12	CLA10t12c	0,10	0,00	0,02
iC16:0	0,13	0,01	0,03	C20:1c11	0,21	0,01	0,05
C15:1	0,02	0,00	0,01	CLA9c10c	0,07	0,01	0,04
anteisoC16:0	0,01	0,00	0,00	CLA9t11t	0,12	0,01	0,04
C16:0	26,05	0,26	1,27	C20:3n6	0,02	0,00	0,00
C16:1t9	0,27	0,03	0,12	C20:4n6	0,05	0,00	0,01
iC17:0	0,53	0,02	0,09	AGS	50,10	0,77	3,77
C16:1c9	3,50	0,17	0,82	AGM	45,02	0,74	3,61
anteisoC17:0	0,66	0,01	0,07	AGP	4,84	0,17	0,81
C17:0	0,91	0,02	0,10	n3	0,90	0,06	0,28
C17:1c10	0,64	0,02	0,10	n6	3,07	0,09	0,41
C18:0	16,37	0,85	4,15	n6/n3	3,57	0,13	0,63
C18.1t9	0,46	0,03	0,14	AGP/AGS	0,10	0,00	0,02
C18:1t11	5,90	0,40	1,97	BAME	1,65	0,02	0,11
C18:1c9	31,79	0,59	2,89	TOTAL CLA	0,87	0,04	0,18
C18:1c11	1,39	0,03	0,15				

En cuanto a la caracterización del perfil de ácidos grasos del tejido subcutáneo de terneros frisonos alimentados con diferentes dietas, podemos señalar que para el total de los tratamientos estudiados se observa que el ácido oleico (C18:1 *cis*-9) es el ácido graso mayoritario (31 a 33%) en el depósito subcutáneo, seguido del palmítico (C16:0) (26 a 30%) y esteárico (C18:0) (14 a 16%), (Tablas 9, 10, 11 y 12). En todos los tratamientos el resto de los ácidos grasos no superan el 5% en relación al total de ácidos grasos analizados.

En todos los casos, el porcentaje total de ácidos grasos saturados es mayor al de ácidos grasos monoinsaturados. Si bien, al hacer el sumatorio de ácidos grasos insaturados (AGM+AGP), aquellos tratamientos que han incorporado lino en la dieta presentan un porcentaje similar de AG insaturados que de saturados, debido al incremento en la deposición de AGP en el tejido subcutáneo (Ilustración 17).

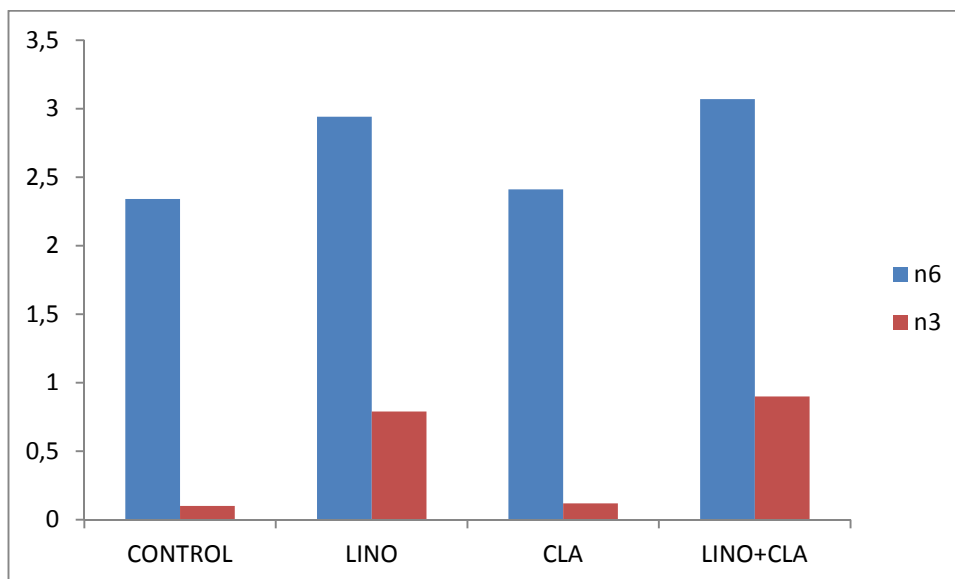
**Ilustración 17:** Contenido (g/100gr de grasa) de ácidos grasos saturados (AGS) e insaturados (AGI) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, Lino+CLA).



Este incremento en el contenido en ácidos grasos poliinsaturados también se ve reflejado en el contenido en ácidos grasos de la serie n-6 y n-3 en aquellos tratamientos que han incorporado lino y lino+CLA en la dieta de los terneros (ilustración 18).



**Ilustración 18:** Contenido (g/100gr de grasa) de ácidos grasos de la serie omega 6 (n-6) y omega 3 (n-3) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, Lino+CLA).



En la tabla 13 se recogen los valores medios (g/100 g del total de ácidos grasos) para cada ácido graso determinado y los sumatorios de los diferentes grupos de ácidos grasos por tratamiento, así como el efecto que la dieta recibida (control, lino, CLA, Lino+CLA) ha tenido sobre la deposición de dichos ácidos grasos.

**Tabla 13:** Comparación de medias de la composición en ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en los diferentes tratamientos experimentales.

AG	CONTROL	LINO	CLA	LINO+CLA	SEM <sup>1</sup>	NIVEL Sig.
C12:0	0,11 <sup>a</sup>	0,118 <sup>a</sup>	0,094 <sup>b</sup>	0,103 <sup>ab</sup>	0,004	**
isoC14:0	0,02	0,032	0,030	0,029	0,003	NS
C14:0	4,01	4,219	3,848	4,115	0,104	NS
isoC15:0	0,15	0,168	0,169	0,175	0,008	NS
C14:1c9	1,14 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	1,022 <sup>ab</sup>	0,839 <sup>b</sup>	0,069	***
anteisoC15:0	0,20 <sup>a</sup>	0,286 <sup>b</sup>	0,249 <sup>ab</sup>	0,296 <sup>b</sup>	0,014	***
C15:0	0,55	0,584	0,560	0,603	0,020	NS
iC16:0	0,11 <sup>a</sup>	0,124 <sup>ab</sup>	0,132 <sup>b</sup>	0,130 <sup>ab</sup>	0,006	*

**Continuación tabla 13:** Comparación de medias de la composición en ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en los diferentes tratamientos experimentales.

ÁG	CONTROL	LINO	CLA	LINO+CLA	SEM	NIVEL Sig.
C15:1	0,02 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,020 <sup>a</sup>	0,016 <sup>b</sup>	0,001	**
anteisoC16:0	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>ab</sup>	0,011 <sup>b</sup>	0,013 <sup>ab</sup>	0,001	**
C16:0	30,65 <sup>a</sup>	27,37 <sup>b</sup>	28,238 <sup>b</sup>	26,048 <sup>c</sup>	0,310	***
C16:1t9	0,34 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,282 <sup>ab</sup>	0,288 <sup>ab</sup>	0,023	*
iC17:0	0,40 <sup>a</sup>	0,52 <sup>b</sup>	0,430 <sup>a</sup>	0,527 <sup>b</sup>	0,016	***
C16:1c9	4,85 <sup>a</sup>	4,67 <sup>a</sup>	4,193 <sup>a</sup>	3,502 <sup>b</sup>	0,186	***
anteisoC17:0	0,59 <sup>a</sup>	0,74 <sup>c</sup>	0,626 <sup>ab</sup>	0,660 <sup>b</sup>	0,015	***
C17:0	0,78 <sup>a</sup>	0,84 <sup>ab</sup>	0,874 <sup>b</sup>	0,914 <sup>b</sup>	0,024	***
C17:1c10	0,59 <sup>a</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,644 <sup>a</sup>	0,640 <sup>a</sup>	0,020	***
C18:0	15,15	14,26	16,250	16,367	0,655	NS
C18.1t9	0,36 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	0,368 <sup>a</sup>	0,464 <sup>b</sup>	0,021	***
C18:1t11	3,51 <sup>a</sup>	3,82 <sup>a</sup>	4,084 <sup>a</sup>	5,899 <sup>b</sup>	0,262	***
C18:1c9	31,90	33,48	32,874	31,793	0,565	NS
C18:1c11	1,55 <sup>a</sup>	1,61 <sup>a</sup>	1,576 <sup>a</sup>	1,390 <sup>b</sup>	0,034	***
C18:2n6t9t12	0,40 <sup>a</sup>	0,99 <sup>b</sup>	0,430 <sup>a</sup>	0,948 <sup>b</sup>	0,020	***
C18:2n6c9c12	1,85	1,85	1,888	2,022	0,067	NS
C18:3n6	0,02 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,029 <sup>a</sup>	0,037 <sup>b</sup>	0,002	***
C20:0	0,10 <sup>a</sup>	0,12 <sup>c</sup>	0,109 <sup>b</sup>	0,121 <sup>c</sup>	0,003	***
C18:3n3	0,10 <sup>a</sup>	0,786 <sup>b</sup>	0,129 <sup>a</sup>	0,903 <sup>b</sup>	0,036	***
CLA9c11t	0,17 <sup>a</sup>	0,356 <sup>b</sup>	0,358 <sup>b</sup>	0,575 <sup>c</sup>	0,021	***
CLA10t12c	0,03 <sup>a</sup>	0,048 <sup>a</sup>	0,097 <sup>b</sup>	0,097 <sup>b</sup>	0,005	***
C20:1c11	0,15 <sup>a</sup>	0,178 <sup>b</sup>	0,208 <sup>b</sup>	0,210 <sup>b</sup>	0,010	***
CLA9c10c	0,02 <sup>a</sup>	0,063 <sup>b</sup>	0,023 <sup>a</sup>	0,074 <sup>b</sup>	0,005	***

**Continuación tabla 13:** Comparación de medias de la composición en ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) de la grasa subcutánea en los diferentes tratamientos experimentales.

CLA9t11t	0,02 <sup>a</sup>	0,068 <sup>b</sup>	0,037 <sup>a</sup>	0,123 <sup>c</sup>	0,005	***
C20:3n6	0,03 <sup>a</sup>	0,016 <sup>b</sup>	0,028 <sup>a</sup>	0,017 <sup>b</sup>	0,001	***
C20:4n6	0,03 <sup>a</sup>	0,044 <sup>b</sup>	0,036 <sup>a</sup>	0,045 <sup>b</sup>	0,002	***
AGS	52,83 <sup>a</sup>	49,373 <sup>b</sup>	51,620 <sup>ab</sup>	50,101 <sup>b</sup>	0,690	**
AGM	44,40	46,330	45,271	45,022	0,685	NS
AGP	2,70 <sup>a</sup>	4,264 <sup>b</sup>	3,045 <sup>a</sup>	4,841 <sup>c</sup>	0,117	***
n3	0,10 <sup>a</sup>	0,786 <sup>b</sup>	0,119 <sup>a</sup>	0,903 <sup>b</sup>	0,036	***
n6	2,34 <sup>a</sup>	2,943 <sup>b</sup>	2,410 <sup>a</sup>	3,070 <sup>b</sup>	0,071	***
n6/n3	23,28 <sup>a</sup>	3,950 <sup>b</sup>	20,573 <sup>c</sup>	3,567 <sup>b</sup>	0,426	***
AGP/AGS	0,05 <sup>a</sup>	0,087 <sup>b</sup>	0,059 <sup>a</sup>	0,097 <sup>c</sup>	0,003	***
BAME	1,48 <sup>a</sup>	1,882 <sup>b</sup>	1,831 <sup>b</sup>	1,648 <sup>a</sup>	0,046	***
TOTAL CLA	0,25 <sup>a</sup>	0,536 <sup>b</sup>	0,516 <sup>b</sup>	0,868 <sup>c</sup>	0,025	***

SEM <sup>†</sup>: Error estándar de la media.

a, b, c Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas (P<0,05). Test Tukey-b.

NS: P>0,05; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001

En la tabla 13 podemos observar para los ácidos grasos isoC14:0, C14:0, isoC15:0, C15:0, ácido esteárico (C18:0), ácido oleico (C18:1 *cis*-9) y AGM, no se observan diferencias significativas entre tratamientos.

Para el AGS mayoritario, ácido palmítico (C16:0), se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05), presentando el tratamiento control el mayor valor (30,65%), difiriendo significativamente del tratamiento CLA (28,24%).

El ácido *trans*vaccénico (C18:1 *trans*-11) presenta diferencias significativas (p<0,001) siendo el lote alimentado con Lino y CLA el que presenta mayor contenido de este AG.

Los animales alimentados con los tratamientos Lino y Lino+CLA han incorporado un porcentaje significativamente mayor (p<0,001) de ácido linolénico (C18:3 n3) en su grasa subcutánea (0,79 y 0,903% respectivamente) que el resto de los tratamientos (CLA con un valor de 0,13% y control con un valor de 0,10%).

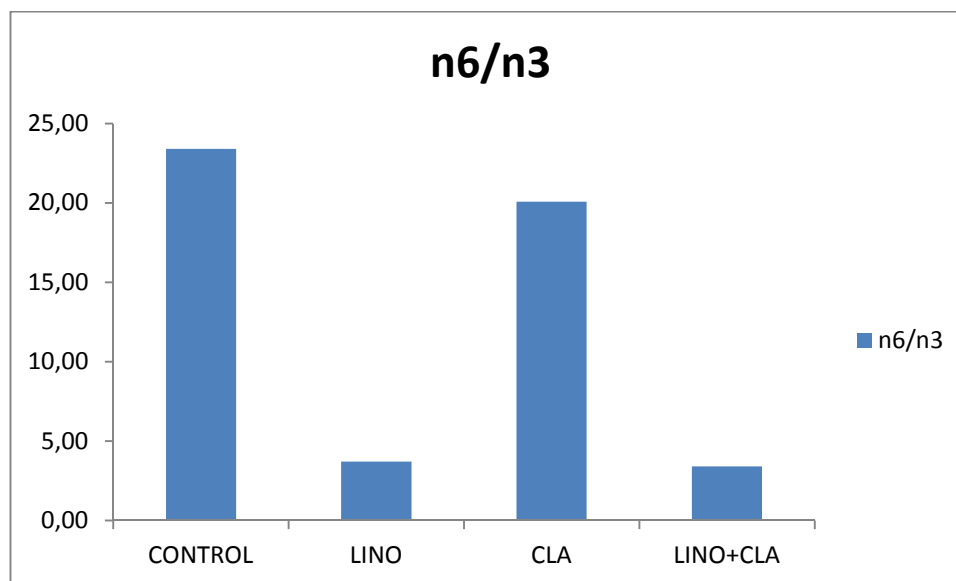
Con respecto a los CLA, en todos los isómeros se han observado diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre tratamientos. De todos ellos es el C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA (ácido ruménico) el que alcanza mayores valores. Los animales alimentados con el tratamiento Lino+CLA han presentado un mayor porcentaje (0,57%) de este ácido seguido del tratamiento Lino (0,36%) y CLA (0,36%). Por último los valores más bajos corresponden al tratamiento control (0,17%). Para el CLA9c10c y CLA9t11t se observa una misma tendencia siendo los animales alimentados con lino o Lino+CLA los que mayores valores de dichos AG presentan. Sin embargo en el CLA10t12c son los animales que han recibido CLA en la dieta los que presentan mayores valores (0,10%) frente a los que se han alimentado con la dieta control o lino (0,035 y 0,05 % respectivamente).

De igual manera dado que los CLA sufren variaciones debido al efecto dieta, cuando analizamos el CLA total observamos que también hay diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre tratamientos, estableciéndose nuevamente una gran diferencia entre el tratamiento Lino+CLA con un valor de 0,87%, con respecto a los tratamientos control (0,25%), Lino (0,54%) y CLA (0,52%).

Para el total de ácidos grasos de la serie omega 3 (n-3) y omega 6 (n-6) se han observado diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,001$ ). Para la serie n-3 los animales alimentados con dietas que contenían lino o Lino+CLA han presentado mayores valores (0,79 y 0,90% respectivamente) que el resto de tratamientos. En la serie n-6 se ha observado algo similar siendo los animales alimentados con dichas dietas los que también han presentado mayores valores (3,07 y 2,94%) que los pertenecientes al lote control (2,344%) o CLA (2,41%).

En la Ilustración 19 se presenta la relación entre ambas series (n6/n3). Para dicha relación las diferencias observadas han sido muy claras ( $p < 0,001$ ) a favor de los animales alimentados con dietas que contenían lino o lino+CLA que han obtenido valores más saludables (3,9 y 3,6 vs. 23,3 y 20,6).

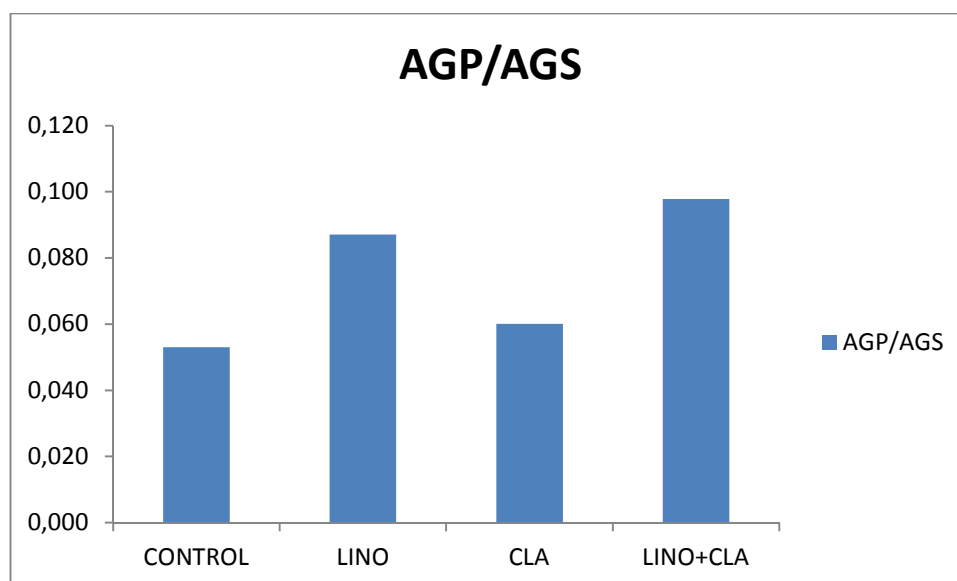
**Ilustración 19:** Relación ácidos grasos omega 6 / omega 3 (n6/n3) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, lino+CLA).



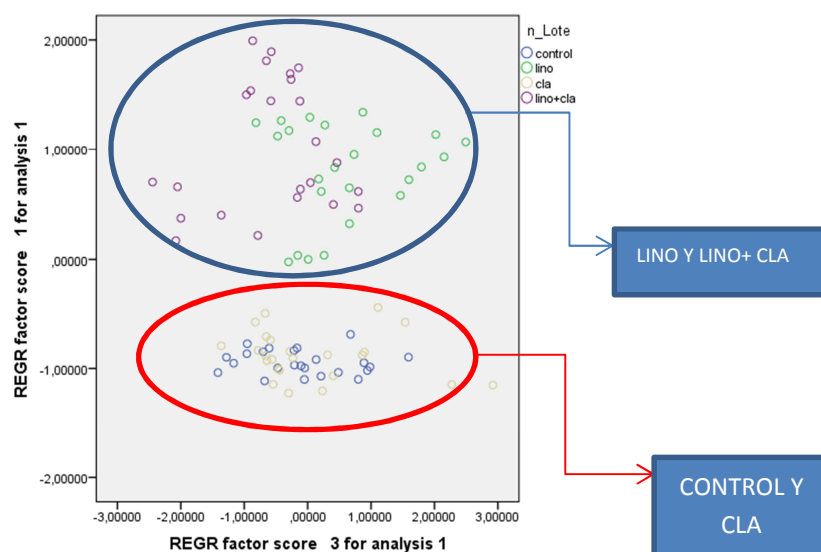
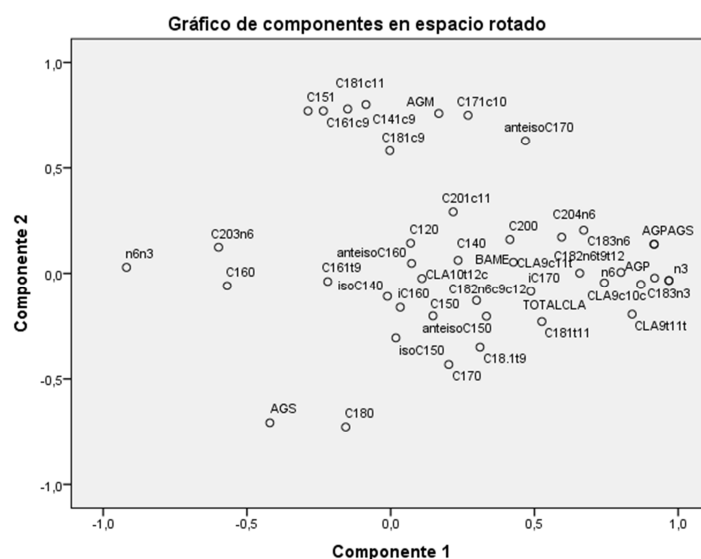
La cantidad acumulada de AGP presenta diferencias significativas debidas a el factor dieta ( $p < 0,001$ ), presentando mayores valores en aquellos animales alimentados con las dietas Lino y Lino+CLA (4,264% y 4,841% respectivamente). Para estos mismos tratamientos se observa una disminución en el total de AGS ( $p < 0,001$ ) no difiriendo significativamente de la dieta CLA.

En cuanto a la relación AGP/AGS, se han encontrado diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre tratamientos. Los animales alimentados con el tratamiento Lino +CLA, son los que mejor relación presentan con un valor de 0,10 seguidos de aquellos animales que han sido alimentados con Lino con un valor de 0,09. Los animales que han sido alimentados con los tratamientos control y CLA presentan una peor relación con unos valores de 0,06 y 0,051 respectivamente (Ilustración 20).

**Ilustración 20:** Relación ácidos grasos poliinsaturados/ saturados (AGP/AGS) en la grasa subcutánea de terneros alimentados con cuatro dietas (control, lino, CLA, lino+CLA).



Para el total de BAME, se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, siendo el tratamiento Lino el que presenta un mayor porcentaje con un valor de 1,88%, seguido del tratamiento CLA con un porcentaje del 1,83%, del tratamiento Lino+ CLA con un valor de 1,65% y por último del tratamiento control con un valor de 1,48%. El ácido graso mayoritario de este grupo es el anteiso C17:0, especialmente en las dietas suplementadas con Lino y/o CLA (0,74% y 0,66% respectivamente) produciéndose un aumento con respecto a la dieta control (0,59%).



En la ilustración 22 se observa que existen dos grupos diferenciados si tenemos en cuenta el lote y el componente 1. Por un lado nos encontramos a aquellos animales que han sido alimentados con el tratamiento control y el tratamiento CLA, y por el otro tenemos un grupo compuesto por aquellos animales que han sido alimentados por los tratamientos Lino y Lino+ CLA



# *DISCUSIÓN*

---

En este trabajo los ácidos grasos mayoritarios presentes en la grasa subcutánea de los terneros alimentados con las distintas dietas, control, lino, CLA y lino+ CLA son en primer lugar el ácido oleico (C18:1 *cis*-9), seguido del ácido palmítico (C16:0) y del ácido esteárico (C18:0). Otros autores que realizaron estudios similares, introduciendo suplementos lipídicos o semillas de oleoginosas en la alimentación para la modificación del perfil lipídico, encontraban el mismo orden en la proporción de los ácidos grasos mayoritarios en la grasa subcutánea de terneros ( Poulson *et al.*, 2004; Raes *et al.*, 2004 ; Pérez., 2010). Todos estos estudios afirman que debido a la síntesis de novo de ácidos grasos y a la síntesis en el tejido adiposo del ácido esteárico (C18:0), por parte de la enzima  $\Delta^9$  desaturasa, se puede considerar el ácido oleico (C18:1 *cis*-9) como el más abundante en la carne de ternero. Sin embargo, y a pesar de que algunos estudios han mostrado que el tejido subcutáneo es más susceptible a responder a las variaciones de la composición de ácidos grasos de la dieta (Lourenço *et al.*, 2007), tras los resultados obtenidos ( Tabla 13), se observa que la adición de Lino y de CLA no supone ninguna modificación en la cantidad de ácido oleico depositado en la grasa subcutánea. Esto se puede deber a que en el pienso administrado contiene cantidades similares de ácido oleico en todas las dietas experimentales.

Se han observado diferencias significativas entre tratamientos para el total de AGS, observándose una tendencia a su disminución cuando añadimos Lino y/o CLA a la dieta. Sin embargo en los tratamientos en los que añadimos CLA, el valor de AGS se mantiene alto. Esto puede deberse a que se ha producido un aumento debido a una mayor tasa de la biohidrogenación o a una síntesis de novo de los AGS principales, palmítico y esteárico.

Dentro de los AGS, el AG mayoritario es el ácido palmítico, (C16:0). En este caso se observa, como cabría esperar, que los terneros que recibieron la dieta control presentan un mayor porcentaje de éste ácido en su grasa subcutánea (30,65 %), ya que es en la dieta control donde se incorpora un mayor porcentaje de aceite de palma, rico en este AGS. Del mismo modo, se puede observar un menor valor del ácido palmítico en aquellos animales alimentados con dietas ricas en AGP, como son las dietas Lino, CLA y Lino+ CLA. Raes *et al.*, (2004) observaron un menor porcentaje de ácido palmítico en aquellos animales que habían sido alimentados con una dieta suplementada con lino (23,5%) respecto de una dieta sin suplemento lipídico (24,7%).

Como hemos descrito en el apartado 2.2.2.4, los BAME son ácidos grasos que poseen actividad anticancerígena. Por ello, la adición de Lino y/o CLA a la dieta supone que obtengamos un perfil de ácidos grasos más saludables, ya que es en estos casos cuando los AG *iso*- y *anteiso*- obtienen mayor valor (Tabla 13).

El ácido esteárico (C18:0), se produce tras la reducción del ácido vaccénico (C18:1 *t*-11) en la biohidrogenación ruminal del ácido linolénico (C18:3), (Bauman *et al.*, 1999). En este estudio el factor dieta no afecta significativamente en los niveles de ácido esteárico.

Otro dato de interés en este estudio es la relación n-6/n-3. Particularmente se busca un aumento de los AG de serie n-3 cuando adicionamos suplementos lipídicos a la dieta. En los resultados se observa cómo el ratio varía al añadir Lino y CLA a la dieta. Con las dietas experimentales que incorporan Lino (3,95%) y Lino +CLA (3,56%) obtenemos ratios dentro de las recomendaciones de la OMS (<5), sin embargo en la dieta CLA este valor se mantiene elevado (20,57%) próximo al control (23,28%). Las series n-3 y n-6 también varían al añadir Lino y CLA, ya que la serie n-3 (Ácido linolénico) se multiplica por 6 al añadir Lino a la dieta y por 8 cuando añadimos Lino conjuntamente con CLA. La serie n-6 aumenta ligeramente cuando adicionamos CLA y algo más cuando adicionamos conjuntamente Lino +CLA. Scollan *et al* (2001), realizó un estudio en el que al aumentar la disponibilidad de ácido linolénico (C18: 3 n-3) (Dieta en base de lino y aceite de pescado), se produjo un incremento de la síntesis de ácidos grasos n-3 y del ratio n-6/n-3.

Dentro de la serie n-6, el AG mayoritario es el ácido linoleico (C18:2 n-6 *cis*-9, *cis*-12). Como cabría esperar, este AG presentó un porcentaje significativamente mayor en aquellos animales alimentados con Lino y Lino+CLA, ya que estos animales son los que más ácido linoleico han consumido. Autores como Mir *et al.*(2003) y Andrae *et al.*(2001) señalan que si se aumenta el ácido linoleico en la dieta con semillas o aceites de oleoginosas se enriquece el músculo o el depósito graso debido a que la biohidrogenación no es completa. Sin embargo, observamos en la tabla cómo su valor se mantiene bajo en la dieta experimental CLA, coincidiendo con un mayor porcentaje del ácido vaccénico y esteárico. Esto puede deberse a que ha habido una alta tasa de biohidrogenación del ácido linoleico debido a que no estaba suficientemente protegido.

La biosíntesis del CLA debe a la isomerización bacteriana, la biohidrogenación de los AGP en el rúmen y a la desaturación de los ácidos trans en el tejido adiposo y en la glándula mamaria (Griinari y Bauman, 1999; Pérez., 2010). El ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA) representa el 85% de CLA presente en la grasa muscular (Chin *et al.*, 1992; Pérez., 2010), que es absorbido en el intestino tras la conversión previa del ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11) a ácido ruménico por la  $\Delta^9$  desaturasa. Esto explica que el ácido ruménico obtenga el valor más alto en aquellos animales que han sido alimentados con la dieta Lino+CLA (0,57%), relacionándose esto con el alto contenido de ácido linoleico y linolénico, ya que son los principales sustratos en la biohidrogenación. Hay que señalar que uno de los objetivos principales en

el control nutricional sobre el perfil de ácidos grasos es el de aumentar el contenido de los isómeros del CLA, especialmente del ácido ruménico. Es por ello que la dieta Lino +CLA, sería la más saludable desde este punto de vista.

El ácido vaccénico también presenta su valor más alto en los animales alimentados con la dieta Lino+CLA (5,90%) que presentan un mayor contenido de ácido linoleico y linolénico proveniente de la dieta. El ácido vaccénico, se produce durante la biohidrogenación del ácido linoleico y linolénico. Debido a la capacidad de la  $\Delta^9$  desaturasa en el tejido humano para transformar el ácido vaccénico en ruménico (Santora *et al.*, 2000; Pérez., 2010), supone que el mayor contenido de ácido vaccénico que encontramos en aquellos animales alimentados con la dieta Lino +CLA, haga que éstos posean una carne más saludable para el consumo humano ya que serán transformados en ruménico que es el ácido graso mayoritario del CLA.

En el caso de otro isómero del CLA, el C18:2 *trans*-10,*cis*-12 CLA, fueron los terneros alimentados con la dieta CLA, los que presentaron un mayor valor (0,10%). Para que se de una mayor producción de éste isómero, debe darse un ambiente ruminal alterado y una presencia de AGP (Griinari *et al.*, 1998; Pérez., 2010). Estos resultados indican que ha habido distintas rutas en la biohidrogenación de los AGP cuando se adiciona CLA o Lino+CLA en la dieta. Algunos estudios sugieren que dietas con un alto contenido en gasa insaturada, junto con una baja relación concentrado:forraje podría inducir cambios en las vías de biohidrogenación ruminal hacia la producción de *trans*-10, *cis*-12 (Gómez-Cortes *et al.*, 2008). Otros autores han comprobado que en dietas con niveles altos de concentrado y grasa, podrían alterar las rutas de biohidrogenación ruminal de los AGM y los AGP en detrimento de la producción del ácido vaccénico (C18:1 t-11), debido a que cambios en la dieta podrían modificar el pH ruminal induciendo cambios en la población microbiana (Griinari *et al.*, 1998).

En el presente estudio, el total de AGM presentes en la grasa subcutánea no se ve afectado significativamente por el tipo de dieta, comprensible observando que el AGM mayoritario, ácido oleico, tampoco se ve afectado significativamente por la dieta.

Con respecto a los AGP se observa un aumento significativo para el total de AGP entre los tratamientos cuando añadimos Lino y/o CLA en la dieta. El valor más alto lo tienen los animales alimentados con Lino y/o CLA, 4,26 % y 4,84 % respectivamente. Estos valores coinciden con los valores más elevados tanto de ácido linoleico como de ácido linolénico. Al aumentar el contenido en la dieta de ácido linoleico y linolénico y de AGP de más de 20 carbonos afectan negativamente a la eficacia de la biohidrogenación permitiendo el paso al dueodeno de más AGP y por lo tanto de su deposición

en la grasa subcutánea (Noble *et al.*, 1974; Qiu *et al.*, 2004; Harvatine y Allen, 2006; Troegeler-Meynadier *et al.*, 2006).

El ratio AGP/AGS, es un parámetro importante relacionado con la salud humana. En este trabajo la adición de Lino y/o CLA ejerce una variación en este ratio siendo la dieta experimental Lino+CLA la que mejor proporción presenta (0,10%). Ello implica que la carne de terneros alimentados con Lino+CLA presentan una grasa subcutánea con una relación AGP/AGS más saludable. Demirel *et al* (2004) también observó un aumento del ratio AGP/AGS al añadir lino a la dieta de corderos. No obstante, este valor se encuentra muy lejos del ratio recomendado por la Agencia de Salud del Reino Unido que es  $> 0,40$  (UK Department of Health, 1994).

Con respecto al análisis factorial de componentes principales, como vemos en la ilustración 22 la distribución de las muestras indica dos grupos diferenciados. Por un lado las muestras procedentes de los animales alimentados con Lino y/o CLA y por otro las muestras procedentes de los animales alimentados con la dieta Control y CLA. En la ilustración 21, observando la distribución de las muestras vemos que el ácido linolénico y el conjunto de los CLA son los que más se separan. Consultando los datos la tabla 13, vemos que estos alcanzan mayores valores en las dietas Lino y Lino+CLA, explicando esto la formación de dos grupos. Si hablamos del conjunto de AGS, también observamos en la ilustración 21 que es de los que más se separan, en este caso en el eje y. Las dietas Control y CLA son las dietas en las que este parámetro alcanza mayores valores (Tabla 13).

# *CONCLUSIONES*

---

En las condiciones en las que se han realizado las pruebas experimentales y de acuerdo a los resultados obtenidos en este Trabajo Fin de Carrera se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Se han detectado un total de treinta y cuatro ácidos grasos en la grasa subcutánea de los terneros, de los cuales el ácido oleico (C18:1 *cis*-9), palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) han sido los mayoritarios.
- La inclusión de diferentes dietas ha afectado a veintiseis ácidos grasos del total de AG determinados, encontrándose diferencias respecto al control. En ocho ácidos grasos no se han encontrado diferencias significativas respecto a la dieta control.
- La inclusión de Lino y/o CLA en la dieta de terneros de raza frisona, supone un incremento de AGP, así como una mejora en la relación AGP/AGS a pesar de que para esta última no se consigue llegar al valor recomendado por la Agencia de Salud del Reino Unido (AGP/AGS>0,40).
- Cuando añadimos Lino y/o CLA a la dieta conseguimos reducir a la sexta parte la relación n-6/n-3 con respecto a la dieta control consiguiendo que llegue al valor recomendado por la OMS (n-6/n-3<5-10).
- La adición de semillas de Lino y CLA conjuntamente supone que la grasa subcutánea extraída del *L. Dorsi* tenga un perfil de ácidos grasos más saludables ya que consiguen aumentar el ratio AGP/AGS, el contenido de CLA y disminuir el ratio n-6/n-3.

***ANEXOS***

---



## **ANEXO 1- PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN Y METILACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LA GRASA SUBCUTÁNEA**

### **Extracción**

1-Pesar por duplicado 30-50mg de grasa subcutánea. Añadir 200mg de Tolueno y agitar 10 minutos.

2-Añadir el patrón interno (C23:0ME): coger 100µl de una disolución ya preparada cuya concentración es de 10mg/ml de C23:0-ME en n-hexane.

3-Añadir 6ml de una solución saponificable (KOH al 5M). Pasar a cada tubo una corriente de aire de N<sub>2</sub> y agitar durante 10 minutos antes de llevar los tubos al baño maría a 60° C durante 60 min).

4-Diluir cada muestra con 12ml de NaCl al 0.5%. Añadir 5ml de éter de petróleo (EP) y agitar durante 5 min.

5-Añadir 10-15 gotas de etanol absoluto a la capa superior. Centrifugar a 800g durante 5 min a 20°C para separar las capas. Quitar la capa transparente correspondiente a la parte de arriba y deshecharla. Botella marrón de residuos de tapón negro. Esta fase no interesa porque ahí se encuentran los ácidos grasos no saponificables. Recoger esta capa con pipeta de plástico y al cambio de muestras diferentes se desecha.

6-Para neutralizar el KOH, añadir 3ml de ácido acético glacial comercial y agitar suavemente manualmente. Como consecuencia de la reacción se calienta el tubo. Esperar 5 min, así se deshace la saponificación. Añadir 5ml de EP y agitar durante 10 min.

7-Añadir 10-15 gotas de etanol en la capa de EP. Centrifugar a 800g durante 5 min a 20° C para separar las capas. La capa transparente superior son los ácidos grasos que nos interesan, saponificables.

8-Tras centrifugar, recoger la capa de arriba del EP y transferirla en tubos de cristal Pyrex una vez hayan sido pesados sin su tapón. Tomar muestras con la pipeta pasteur y cambiarla cuando se traten de muestras diferentes. Reducir el volumen de la muestra recogida a la mitad mediante corriente de N<sub>2</sub> a una temperatura de 40°C.

9-Añadir 5ml de EP y agitar durante 5 min. Repetir pasos 7 y 8.

10-Añadir 100µ de 2,2 dimethoxypropane a cada uno de los tubos con las muestras y agitar durante 2 min. A partir de este momento, las muestras

pueden ser guardadas en congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de relizar la metilación.

### Metilación

1-Reducir el volumen de las muestras mediante corriente de  $\text{N}_2$  a  $40^{\circ}\text{C}$ . Quedará un residuo e el fondo que a  $40^{\circ}\text{C}$  será medio líquido y al enfriarse será pastoso. A continuación anotar el peso de cada uno de los tubos para calcular el total del contenido del extracto lipídico.

2-Disolver los AGLs con 1ml de una mezcla de methanol: tolueno (2:1) para obtener una concentración menor de 50mg/ml. Agitar durante 5 minutos.

3-Añadir 120 $\mu\text{l}$  TMS-DM a cada una de las muestras y dejar actuar a  $40^{\circ}\text{C}$  durante 10 min. Agitar suavemente y dejar los tubos destapados durante 10 minutos a  $40^{\circ}\text{C}$ . limpiar la jeringa y todo el material usado con Diazometano con Ac acético Gl.

4-Concentrar las muestras bajo corriente de  $\text{N}_2$  a  $40^{\circ}\text{C}$ .

5-Añadir 2.0ml n-hexane el cual debe contener 50ppm de BHT a cada tubo, agitar durante 5 min. Transferir 1,5ml de las muestras a tubos eppendorf y centrifugar a 20.000g durante 5 minutos. Transferir en viales de cristal y guardarlos a  $-20^{\circ}\text{C}$  hata el momento del análisis cromatográfico.

# *REFERENCIAS*

---

# *BIBLIOGRÁFICAS*

---

**Alday, N., Murrey., Nágera., Osoro** (2005).

**Andrae, J.G., Duckett, S.K., Hunt, C.W., Pritchard G.T., Owens F.N.** (2001). Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *Journal of Animal Science*, 79, 582-588.

**Azain, M.J.** (2003) *Proceedings Nutrition Society* 62: 319-328.

**Bas, P., Morand-Fehr, P.** (2000). Effect of nutritional factors on fatty composition of lamb fat deposits. *Livestock Production Science*, 64, 61-79.

**Bas, P., Sauvant, D.** (2001). Variations de la composition des dépôts lipidiques chez les bovins. INRA. **Produccion Animal**, 14, 311-322

**Bauchart, D., Legay-Carmier, F., Doreau, M., Jouany, J.P** (1986). Effect de l'addition de matières grasses non protégées à la ration de la vache laitière sur la concentration et la composition chimique des bactéries et des protozoaires du rumen. *Reproduction Nutrition Development*, 26, 309-310.

**Bauman. D.E., Baumgard, L.H., Corl, B.A., Griinari, J.M.** (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*.

**Bauman.D.E., Griinari, J.M.,** (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23, 203-227.

**Bauman. D.E., Mather, I.H., Wall, R.J., Lock, A.L.,** (2006). Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal Dairy Science*, 89, 1235-1243.

**Belitz, H., Grosch, W.** (1997). Química de los alimentos. Editorial Acribia  
ISBN: 9788420011622

**Bell, A.W.** (1982). Control of lipid metabolism in ruminants. *Proc. Nutr. Soc. Aus.*, vol. 7, p. 97-104.

**Belury, M.A.** (2002) *Annual Review Nutrition* 22: 505-531.

**Beorlegui, C.** (2004). Cambios en el perfil de ácidos grasos en productos animales en relación con la alimentación animal y humana. Importancia del ácido linoleico conjugado. 1. Ruminantes. xx curso de especialización FEDNA.

**Beriain M<sup>a</sup>J.,** (2009). Curso de Bromatología: los lípidos. Ref 36554.

**Biesalsky, H.K.** (2005). Meat as a component of a healthy diet are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet. *Meat Science*, 70, 509-524.

**Brandan, N. C., Llanos, I. C., Miño, C. A., Piccardo, A. P., Ragazzoli, M. A. Ruiz Díaz, Daniel A. N.** (2008). El Tejido Adiposo como Órgano Endocrino. Universidad Nacional del Nordeste Facultad de Medicina Cátedra de Bioquímica.

**Chilliard, Y., Ollier, A. (1994).** Alimentation lipidique et métabolisme du tissu adipeux chez les ruminants. Comparaison avec le porc et les rongeurs. *INRA Production Animal* vol. 7, p. 293-308.

**Chin, S.F., Liu, W., Wood, J.D., Scollan, N.D** (1992). Effect of breed on the deposition in beef muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Animal Science*, 71, 509-519.

**COAG (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos)** (2006). Situación actual del sector de la carne de vacuno.

**Collomb, M., Schmida, A., Siebera, R., Wechslera, D. y Ryhänenb, E.** (2006). Conjugated linoleic acids in milk fat: Variation and physiological effects. *Inter. Dairy J.* 16: 1347–1361.

**CONAFE (Confederación de Asociaciones de Frisona Española).** Morfología Raza Frisona.

**Cunnane, S. C.** (2003). Dietary Sources and Metabolism of  $\alpha$ -Linolenic Acid. In: Flaxseed in Thompson, L.U; Cunanne, S.C (ed.) *Human Nutrition*, 2nd edn., Champaign, Illinois AOCS Press. pp. 63-91.

**Dabadie, H., Peuchant, E., Bernard, M., Leruyet, P., Mendy, F. (2005).** Moderate intake of myristic acid in sn-2 position has beneficial lipidic effects and enhances DHA of cholesteryl esters in an interventonal study. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 16, 375-382.

**Daun, J. K., Barthet, V. J., Chornick, T. L., Duguid, S.** (2003) Structure, composition, and variety development of flaxseed. In: Thompson, L.U.; Cunanne, S.C. (eds.). *Flax seed in Human Nutrition*. 2nd ed. Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 1-40.

**Demeyer, D.I. y Doreau, M.** (1999) *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 593-607.

**Demeyer, D.I., Hendricks, H.K.** (1967). The effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production in vitro by mixed rumen bacteria. *Biochemical and biophysical. Acta*, 137, 484-497.

**Demirel G., Wachira A.M., Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Wood J.D., Enser M. (2004)** Effect of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamina E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. *British Journal of Nutrition* vol. 91, 551-565.

**Doreau, M., Ferlay, A., (1994).** Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science Technol.* 45, 379-396.

**Doreau, M., Fievez, V., Troegeler-Meynadier, A., Glasser F. (2012).** Métabolisme ruminal et digestion des acides gras longs chez le ruminant: le point des connaissances récente. *INRA Prod. Anim.*, 25 (4), 361-374

**DOCE (1999)**

**Eichhorn, J.M., Coleman, L.J., Wakayama, F.J., Blomquist, G.J., Bailey, CM., Jenkins, C. (1986).** Effect of breed type and restricted versus ad libitum feeding on fatty acid composition and cholesterol content of muscle and adipose tissue from nature bovine females. *Journal Animal. Science*, 63, 78 1-794.

**Englatina, M. (1999).** Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía de los rumiantes. Departamento de Nutrición y Bioquímica Facultad de Medicina Zootecnia y Veterinaria Universidad Autónoma de México.

**Enjalbert, F., Nicot, M.C., Vernay, M., Moncoulon, R. y Gries, D. (1994).** *Canadian Journal of Animal Science* 74: 595-600.

**Enser, M., Hallet, K., Hewett, E., Fursey, O.A.J., Wood, J.D. (1996).** Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science.*, 44, 443-458.

**FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2006).** Ganado bovino y búfalos en el mundo y en los países de mayor censo, millones de cabezas. (censos correspondientes al año 2005).

**FEDNA (2003).** Semillas de lino. Fundación Española para el desarrollo de la Nutrición Animal.

**Fellner, V., Sauer, F.D. y Kramer, J.K.G. (1995)** *Journal of Dairy Science* 78:1815-1823.

**Figuerola, F. E.; Hurtado, M. L.; Estévez, A. M.; Chiffelle, I.; Asenjo, F. (2005).** Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry* 91: 395-401.

**Figuerola, F., Muñoz, O., Estévez, A.M.** (2008). La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. *Agro sur* 36 (2) 49-58.

**Flanzy, J.** (1972). Evolution de la constitution des graisses de réserve en fonction des nouvelles techniques delexage. Introduction. *Revue Francaise des Corps Gras*, 19(b): 359-3641.

**Fuentes, M. C.** (2009). Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional en vacas lecheras: el papel del rumen (Tesis Doctoral), Departament de Ciencia Animal i dels aliments. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.

**Gillis, M.H., Duckett, S.K., Sackman, J.R.** (2004). Effects of supplemental rumenprotected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82, 1419-1427.

**Givens, D.I.** (2005). The role of animal nutrition in improving the nutritive value of animal-derived foods in relation to chronic disease. *Proc. Nutr. Soc.*, 2005, vol. 64, p. 395-402.

**Givens, D.L., Gibbs, R.A.** (2006). Very long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in the food chain in the UK and the potential of animal derived food to increase intake. Review Paper. *British Journal Of Nutrition*, Bulletin 31, 104-110.

**Gómez-Cortés, P., Frutos, P., Mantecón, A.R., Juárez, M., De la Fuente, M.A., Hervás, G.** (2008a). Addition of Olive Oil to Dairy Ewe Diets: Effect on Milk Fatty Acid Profile and Animal Performance. *Journal of Dairy Science*, 91, 3119–3127.

**Gómez-Cortés, P.**, (2010). Efecto de la suplementación de la dieta ovina con distintas fuentes lipídicas sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. Universidad Complutense de Madrid, facultad de ciencias químicas, departamento de química física. ISBN: 978-84-693-6546-5.

**Gómez-Cortés, P., Frutos, P., Mantecón, A.R., Juárez, M., De la Fuente, M.A., Hervás, G.** (2008b). Milk Production, Conjugated Linoleic Acid Content, and In Vitro Ruminal Fermentation in Response to High Levels of Soybean Oil in Dairy Ewe Diet. *Journal of Dairy Science*, 91, 1560–1569.

**Gonthier, M., Mustafa, A.F., Berthiarne, R., Petit, H.V., Martineau, R., Ouellet, D.R** (2004). Efecta of feeding micronized and extruded flaxseed on ruminal Fermentation and nutrient utilization by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 1854-1863.

- Griinari, J.M., Numela, K.V., Sairanen, A., Nousiainen, J.I Khalili, H.** (1998). Effect of dietary sinflower oil and pasture forage maturity on conjugated linoleic acid (CLA) content in milk fat from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 812,300.
- Griinari, J.M., Bauman, D.E.** (1999). Byosynthesis of Conjugated Linoleic Acid and Its Incorporation in Meat and Milk of Ruminants. In *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, Vol. 1. Yurawcez, M.P., Mossoba, M.M., Kramer, J.K.G., Pariza, M.W., Nelson, G.j., ed. Aocs Press, Champaign, IL.
- Hall, C., Tulbek, M.C.; Xu, Y.** (2006). Flaxseed. *Ad. Food Nutr. Res.* 51, 2-99.
- Hartfoot, C.G., Hazelwood, G.P.** (1988).The Rumen Microbial Ecosystem. Hobson, P.N. (ed). *Elsevier Applied Science*, London, New York, pp. 285-322.
- Hartfoot, C.G., Hazelwood, G.P.** (1997). Lipid Metabolism in the Rumen. In the Rumen Microbial Ecosystem, 2nd ed. P.N. Hobson, ed. *Elsevier Science Publishing Co., Inc.*, New York, NY.
- Harvatine, K.J., Allen, M.S.** (2006). Fat supplements affect fractional rates of ruminal fatty acid biohydrogenation and passage in dairy cows. *Journal of Nutrition*, 136: 677-685.
- Hegsted. D.M., McGandy, R.B. y Myers, M.L.** (1965). Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man. *American Journal of Clinical Nutrition*, 17, 281-295.
- Hildich, IP., Williams, P.N.** (1964). The Chemical Constitution of Natural fats. (Ed. 1. Wiley and Sons), Inc. New York. p. 481.
- Himms-Hagen., Brown, J.** (1992). Adipose Tissue Metabolisme Obesity. P Björntorp. P. 15-29 JB. Co. 1992.Philadelphia. Penn. USA.
- Kalscheur, K.F., Teter, B.B., Piperova, L.S. y Erdman, R.A.** (1997) *Journal of Dairy Science* 80: 2115-2126.
- Hirsch J. y col** (1989).The Fat Cell. *Medicine Clinical of North America*.Vol. 73 Nº1, January p. 79-93.
- Kempt, J.D., Mahyuddin, M., Ely, D.G., Fox, J.D., Moody, W.G.** (1981) Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties and fatty acid composition of lamb. *Journal of Animal Science*, 51, 321-330.



**Keys, A., Anderson, J.T., Grande, F. (1965).** Serum cholesterol response to changes in the diet IV. Particular saturated fatty acids in the diet, *Metabolism*, 14, 776-787.

**La ganadería en Navarra, pasado y presente (2010).** Gobierno de Navarra, INTIA (Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias).

**Leat, W.M.F. (1975).** Fatty acid composition of adipose tissue of Jersey cattle during growth and development. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 85, 551-558.

**Lourenço, M., Van Ranst, G., De Smet, S., Raes, K., Fievez, V. (2007)** Effect of grazing pastures with different botanical composition by lambs on rumen fatty acid metabolism and fatty acid pattern of longissimus muscle and subcutaneous fat. *Animal* vol. 1: 537-545.

**Lock, A.L. y Bauman, E.D. (2004).** Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids*, 39: 1197-1206.

**MAAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) (2011).** Caracterización del sector vacuno de carne en España.

**MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). (1975).** Technical bulletin 33, Energy allowances and feeding systems for ruminants. London.

**Mataix, F.J., Gil, A. (2004).** Libro blanco de los omega-3. Editor: Puleva food, Fundación Puleva. Granada, España.

**Mataix, J., Sanchez. V. (2005).** Lípidos. Capítulo 4.

**Martínez, D. (2012).** Suplementación de las raciones para vacas lecheras de alta producción con aceites de origen vegetal. Universidad Complutense de Madrid, facultad de veterinaria, departamento de producción animal.

**McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A. (2006)** *Nutrición animal*. Zaragoza (España): Editorial Acribia.

**Mir, P.S., McAllister, t.a., Scott, S., Aalhus, J., Baron, V., McCartney, D., Charmley, E., Goonewardene, L., Basarab, J., Okine, E., Weselake, R.J., Mir, Z. (2004).** Conjugated linoleic acid-enriched beef production. *American Journal of Clinical Nutrition*.

**Mir, P.S., Mir, Z., McAllister, T.A., et al. (2003).** Effect of sunflower oil and vitamin E on beef cattle performance and quality, composition and oxidative stability of beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, 53-66.

**Morand-Fehr, P., Tran, G.** (2001). La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *INRA Producción Animal*, 14, 285-302.

**Morris, D. H.; Vaisey-Gensber, M.** (2003). Availability and Labeling of Flaxseed Food, Products and Supplements. In: Thompson, L. U.; Cunnane S. C. Flaxseed in Human Nutrition. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 404-422.

**Noble, R.C., Moore, J.H., Harfoot, C.G.** (1974). Observations on the pattern on biohydrogenation of esterified and unesterified linoleic acid in the rumen. *British Journal of Nutrition*, 31, 99-108.

**Oomah, B. D.** (2003). Processing of flaxseed fiber, oil, protein, and lignan. In: Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (eds.). Flaxseed in Human Nutrition. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 363-386.

**Ostranoer, J., Dugan, L.R.** (1962). Some differences in composition of covering fat, intermuscular fat and intramuscular fat of meat animals. *JA.O.CS.* 39, 178-181.

**Pariza, M.W., Park, Y. y Cook, M.E.** (2001) *Progress in Lipid Research* 40: 283-298.

**Parodi, P.W.** (1999) *Journal Dairy Science* 82: 1339-1349.

**Pérez, B.** (2011). Suplementación de raciones para cebo intensivo de terneros con aceites vegetales: rendimientos productivos, calidad de la canal, de la grasa y de la carne. Universidad Complutense de Madrid, facultad de veterinaria, departamento de producción animal. ISBN: 978-84-694-2812-2.

**Petit, H.V.** (2002). Digestion, milk production, and blood composition of dairy cows fed whole flaxseed. *Journal Dairy Science*, 85, 1482-1490.

**Poppitt, S.D., Koegh, G.H., Mulvey, T.B., McArdle, B.H., MacGibbon, A.K.H., Cooper G.J.S.** (2002). Lipid-lowering effects of a modified butter-fat: A controlled intervention in healthy men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, 64-71.

**Poulson, C.S., Dhiman, T.R., Ure, A.L, Cornforth, D., Olson, K.C.** (2004). Conjugated linoleic acid content of beef from cattle fed diets containing high grain, CLA, or raised on forages. *Livestock Producton Science*, 91, 117-128.

**Qiu, X., Eastridge, M.L., Firkins, J.L.** (2004b). Effects of substrate, passage rate, and pH in continuous culture on flows of conjugated linoleic acid and *trans* C18:1. *J. Dairy Sci.*, 87: 3743-3479.

**Raes, K., Balcaen, A., Claeys, E., De Smet, S., Demeyer, D.** (2002). Effect of duration of feeding diet rich in n-3 PUFA to Belgian Blue double-muscled young bulls, on the incorporation of long-chain n-3 and n-6 PUFA in the phospholipids and triglycerides of the longissimus thoracis. In: Proceedings of the 48th ICoMST, vol. II. Rome, Italy, 724-725.

**Raes, K., Haak, L., Balcaen, A., Claeys, E., Demeyer, D., De Smet, S.** (2004). Effect of feeding linseed at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscled Belgian Blue young bulls. *Meat Science*, 66, 307-315.

**René Baudrand, B., Eugenio Arteaga, U., Manuel Moreno, G.** (2010). El tejido graso como modulador endocrino: Cambios hormonales asociados a la obesidad. *Revista médica de Chile*, vol. 138(10) 1294-1301.

**Ritzenthaler, K.L., McGuire, M.K., Roger, F., Shultz, T.D., Nairanjana D., y McGuire, M.A.** (2001). Estimation of Conjugated Linoleic Acid Intake by Written Dietary Assessment Methodologies Underestimates Actual Intake Evaluated by Food Duplicate Methodology. *J. Nutr.*, 131:1548-1554.

**Santora, J., Palmquist, D.L., K.L.** (2000). Trans-Vaccenic acid is desaturated to conjugated linoleic acid in mice. *Journal of nutrition*, 130, 208-215.

**Scollan, N.D., Choi, N.J., Kurt E., Fisher A.V., Enser M., Wood J.D.** (2001) Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *British Journal of Nutrition* vol. 85: 115-124.

**Schmid, A., Colomb, M., Sieber, R., Bee, G.** (2006). Conjugated linoleic acid in meat and meat products: a review. *Meat Science*, 73, 29-41.

**Smith, W.A., Harris, B., Van Horn, H., Wilcox, C.J.**, (1993). Effects of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. *Journal Dairy Science*, 76, 205-215.

**Solaun, I.** (2010). Efecto de la dieta en la composición de ácidos grasos en muestras de corderos de raza navarra de tipo ternasco. Universidad Pública de Navarra. Departamento de Producción Animal.

**Stavro, P. M., Marchie, A.L., Kendall, C.W.C., Vuksan, V., Jenkins, D.J.A.** (2003). Flaxseed, Fiber, and Coronary Heart Disease: Clinical Studies In: Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd ed. Champaign, Illinois. AOCS. Press. pp. 288-300.

**Troegeler-Meynadier, A., Bret-Bennis, L., Enjalbert, F. (2006).** Rates and efficiencies of reactions of ruminal biohydrogenation of linoleic acid according to pH and polyunsaturated fatty acids concentrations. *Reproduction Nutrition Development*, 46, 713-724.

**Ueda, K., Ferlay, A., Chabrot, J., Looor, J.J., Chilliard, Y., Doreau, M., (2003).** Effect of linsed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage: concentrate ratios. *Journal Dairy Science*, 86, 399-4007.

**UK Department of Health, 1994.** Nutritional aspects of cardiovascular disease (Report on Health and Social subjects nº 46). H.M. Stationery Office, Londres.

**Varela, A., Oliete, B., Moreno, T. Portela, C., Monserrat, L., Carballo, J.A., et al. (2004).** Effect of pasture finishing on the meat characteristics and intramuscular fatty acid profile of steers of the Rubia Gallega breed. *Meat Science*, 67, 515-522.

**Vlaeminck, B., Dewhurst, R.J., Demeyer, D., Fievez, V. (2004<sup>a</sup>).** Odd and branched chain fatty acids to estimate proportions of cellulolytic and amylolytic particle associated bacteria. *J. Anim. Feed Sci.* 13 (Suppl. 1), 235–238.

**Vlaeminck, B., Fievez, V., Dewhurst, R.J. (2006<sup>a</sup>).** Effect of choice of microbial marker and variation in solid- to liquid-associated bacteria proportion in duodenal contents on the estimation of duodenal bacterial nitrogen flow. *J. Dairy Sci.* (abstract) 89 (Suppl. 1), 360.

**Vlaeminck, B., Fievez, V., Demeyer, D., Dewhurst, R.J. (2006<sup>b</sup>).** Effect of forage: concentrate ratio on fatty acid composition of rumen bacteria isolated from ruminal and duodenal digesta. *J. Dairy Sci.* 89, 2668–2678.

**Vlaeminck B., Fievez V., Cabrita A.R.J., Fonseca A.J.M., Dewhurst R.J. (2006).** Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Animal Feed Science and Technology* 131:389-417.218.

**Watkins, B.A., Devitt, A.A., YU, L. y Latour, M.A. (2000)** En: *Egg Nutrition and Biotechnology*. J.S. Sim, S. Nakai, W. Guenter (Eds.). Wallingford, CAB International. pp. 197-202.

**Wertelecki, T. J., Bodarski, R. K. (2003).** FATS/Production of Animal Fats Agricultural University, Wroclaw, Poland. 2261.

**Who. (2002)** Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical Report Series, 916. ISBN 92 4 120916 X.

**Wildman R.E.C. (2007).** Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods. CRC Press, Estados Unidos.

**Wongtangtintharn S., Oku H., Iwasaki H., Toda T.** (2004). Effect of branched-chain fatty acids on fatty acid biosynthesis of human breast cancer cells. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 50:137-143.

**Wood, J.D.** (1984). Fat deposition and the quality of fat Tissue in meat animals. In: *Fats in Animal Nutrition* (Ed: Wiseman. J), Butterworths, London. P. 407-435.

**Wood, J.D., Enser, M.** (1997). Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78, 49-60.

**Wu, Z., Ohajuruka, O.A. y Palmquist, D.L.** (1991) *Journal Dairy Science* 74:3025-3034

**Yang Z., Liu S., Chen X., Chen H., Huang M., Zheng J.** (2000). Induction of apoptotic cell death and in vivo growth inhibition of human cancer cells by a saturated branched-chain fatty acid, 13-methyltetradecanoic acid. *Cancer Research* 60:505-509.

**Zinn, R.A., Gulati, S.K., Plascencia, A., Salinas, J.** (2000). Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 78, 1738-1746.